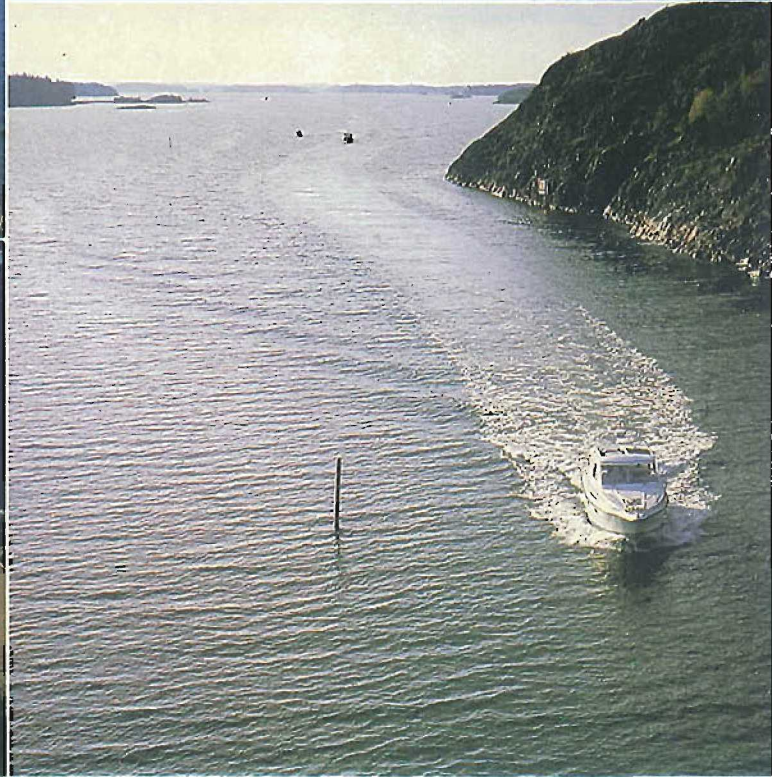


166



OLLI MADEKIVI (toim.)

ALUSTEN AIHEUTTAMIEN AALTOJEN JA VIRTASTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
Helsinki 1993

166

OLLI MADEKIVI (toim.)

**ALUSTEN AIHEUTTAMIEN AALTOJEN
JA VIRTASTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET**

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
Helsinki 1993

Etukannen kuvat: Vesiliikennettä ahtailla saaristoväylillä. Aallokon
haittavaikutuksia pyritään ehkäisemään kielloin ja rajoituksin.
Kuvat: Olli Madekivi ja Olof Rönnerberg

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota
vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:
Painatuskeskus Oy, PL 516, 00101 Helsinki
Postimyynti, puh. (90) 566 0266

ISBN 951-47-8490-1
ISSN 0786-9592

HELSINKI 1993

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)
Olli Madekivi (toim.)

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)
Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset
Miljöeffekter av fartygsgenererade vågor och strömmar

<i>Julkaisun laji</i> Tutkimusraportti	<i>Toimeksiantaja</i>	<i>Toimielimen asettamispyvm</i>
---	-----------------------	----------------------------------

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Tämä julkaisu pohjautuu Teknillisen korkeakoulun vesirakennuslaboratoriossa ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen laivatekniikan laboratoriossa tehtyyn tutkimukseen, jossa selvitettiin alusliikenteestä aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Tutkimus suoritettiin pääosin kirjallisuustutkimuksena, johon alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten tarkastelun lisäksi koottiin eri alojen asiantuntijoiden näkemyksiä alusliikenteen vaikutuksista mm. vesiympäristön biologiaan ja kalatalouteen. Vesiliikenteen päästöt on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkimuksen tarkoituksena on toimia myös esiselvityksenä laajemmalle jatkotutkimukselle, joka sisältäisi myös luonnossa tapahtuvia mittauksia.

Laivaliikenteen ja veneilyn määrä on lisääntynyt viimeisen vuosikymmenen aikana huomattavasti. Merikuljetusten lisääntymisessä on tunnusomaista ollut myös aluskokojen kasvu. Aluskoon kasvu on selvästi lisännyt paine- ja imuvaikutuksia verrattuna aiemman sukupolven aluksiin ja vaikutukset ilmenevät muutoksina etenkin ahtaiden saaristoväylien luonnossa. Toisaalta kehittynyt runkosuunnittelu ja herkimmille alueille säädetty nopeusrajoitukset ovat pienentäneet aallonmuodostuksesta johtuvia haittoja.

Aalloilla ja virtauksilla on todettu sekä myönteisiä että kielteisiä vaikutuksia: haitallisina voidaan pitää rantojen köyhtymistä eliölajien lukumäärän ja biomassan pienetessä sekä rantaeroosiota. Kalastukselle voi aiheutua haittoja mm. pyydysten rikkoutumisena ja mahdollisina muutoksina kalakannoissa. Myönteisinä voidaan pitää joidenkin eliölajien ja levien reviiirin laajentumista vedenpinnan vaihtelusta johtuen sekä lisäravinteiden joutumista aaltoilun ja virtausten johdosta rantavyöhykkeelle niitä tarvitsevien populaatioiden käyttöön.

Melun vaikutuksista kalastoon löydettiin tämän tutkimuksen puitteissa vain niukasti tutkimustuloksia.

Potkurivirtausten vaikutuksia arvioitaessa pohditaan mm. termokliinin mahdollista rikkoutumista ja sen seurannaisvaikutuksia.

Tutkimuksessa selvitettiin myös alusliikennettä ja ympäristövaikutuksia koskevaa lainsäädäntöä. Ympäristöhaittoja pyritään vähentämään mm. nopeusrajoituksilla ja aallonmuodostuskielloilla, mutta rajoituskysymykset ovat monelta osin ongelmallisia.

Asiasanat (avainsanat)

Laivat, veneet, vesiliikenne, ympäristövaikutukset, aallot, aallonmuodostus, virtaukset, ekosysteemit, kalatalous, kalastus, kalasto, vedenalainen melu, eroosio, lainsäädäntö, nopeusrajoitukset, hyöty, haittavaikutukset

Muut tiedot

<i>Sarjan nimi ja numero</i> Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 166		<i>ISBN</i> 951-47-8490-1	<i>ISSN</i> 0786-9592
<i>Kokonaissivumäärä</i> 113	<i>Kieli</i> Suomi	<i>Hinta</i>	<i>Luottamuksellisuus</i> Julkinen
<i>Jakaja</i> Painatuskeskus Oy PL 516, 00101 Helsinki		<i>Kustantaja</i> Vesi- ja ympäristöhallitus PL 250, 00101 Helsinki	

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelsen

Utgivningsdatum
30.9.1993

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare
Olli Madekivi (red.)

Publikation (även den finska titeln)
Miljöeffekter av fartygsgenererade vågor och strömmar
Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset

Typ av publikation
Forskningsrapport

Uppdragsgivare

Datum för tillsättandet av organet

Publikationens delar

Referat

Denna publikation baserar sig på ett forskningsarbete angående fartygstrafikens miljöeffekter, som utförts på Tekniska högskolans vattenbyggnadsavdelning och Statens tekniska forskningscentrals skeppstekniska laboratorium. Projektet genomfördes huvudsakligen i form av en litteraturstudie med tonvikt på fartygsgenererade vågor och strömningsfält. Därutöver samlades en mängd expertutlåtanden av företrädare för olika branscher, angående vattenmiljöns biologi och fiskerinäringen. Miljöeffekter av emissioner härrörande från fartygstrafiken har inte behandlats.

Forskningsprojektet är också avsett att fungera som en förstudie för ett mera omfattande fortsättningsprojekt som är tänkt att innehålla även mätningar in situ.

Fartygs- och småbåtsrafikens volym har ökat märkbart under det senaste decenniet. Kännetecknande för transportvolymens tillökning är även fartygsstorlekens tillväxt. Den tilltagna storleken av fartyg har medfört ökade tryck- och sugeffekter som påverkat framför allt smala skärgårdasfarleder. Å andra sidan har utvecklingen av fartygens skrovform samt införda fartbegränsningar bidragit till att minska vågeffekterna.

Vågor och strömningar har konstaterats ha både positiva och negativa verkningar. Som negativa kan anses strändernas utarmning genom en minskning av organismarter och biomassa samt erosion. Fiskeriet kan lida skador i form av skador på fångstredskap och förändringar av fiskbestånd. Positiva effekter kan anses vara en utvidgning av förekomstområden för vissa organismer och alger på grund av vattenståndsväxlingar. Vågor och strömningar bidrar också till att näringsämnen transporteras till strandregionen till förmån för vissa populationer.

Angående bullereffekter på fiskbestånden stod endast ett begränsat utbud av forskningsmaterial tillgängligt. Vid bedömning av propellerströmningarnas verkningar bör störningar i temperaturdistributionen och dess följdverkningar beaktas.

I forskningsprojektet utreddes också lagstiftning gällande fartygstrafik och miljöeffekter. Allmänt strävar man till att minska miljöskador genom fartbegränsningar och förbud att orsaka vågor men begränsningsfrågorna är till många delar problematiska.

Sakord (nyckelord)

Fartyg, båtar, sjötrafik, miljöeffekter, vågor, vågbildning, strömmar, ekosystem, fiske, fiskbestånd, undervattensbuller, erosion, lagstiftning, fartbegränsningar, positiva effekter, negativa effekter

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer
Vatten- och miljöförvaltningens publikationer
– serie A 166

ISBN
951-47-8490-1

ISSN
0786-9592

Sidantal
113

Språk
Finska

Pris

Sekretessgrad
Offentlig

Distribution
Tryckcentralen Ab
PB 516, 00101 Helsingfors

Förlag
Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250, 00101 Helsingfors

Published by
National Board of Waters and the Environment

Data of publication
30.9.1993

Author(s)
Olli Madekivi (ed.)

Title of publication
The Environmental Effects of Ship-induced Waves and Currents

Type of publication
Research report

Commissioned by

Parts of publication

Abstract

This publication is based on the research project conducted at the Hydraulics Laboratory of the Helsinki University of Technology and the Ship Laboratory of the Technical Research Centre of Finland. The research study consisted of the environmental impacts of marine traffics, especially the ship-induced waves and currents. The study was carried out mainly as a literature study. Additional discussions on the environmental effects on the biological aspects and fishing were made by various experts. Environmental discharges are not discussed.

The basic goal of this study was to be as a preliminary survey for further research, which would contain also full-scale measurements.

Marine transportation and yachting have increased a lot during the last decade. The increase of the sea transportation has been characterized also by the increase of the ship size. The increase of the ship size has clearly increased the pressure- and suction effects compared to the ships of the previous generation. These effects will produce certain changes especially in the neighbourhood of restricted fairways of the archipelago. On the other hand the modern hull design and speed limitations in the most sensitive areas have decreased the disadvantages due to the ship-wave formation.

The waves and currents will cause both positive and negative effects: The impoverishment of the shore due to the decrease of populations and biomass can be thought as a negative effect. Shore erosion is also one of the disadvantages. Fishing can suffer from the damages to the fishing implements and possible changes on the fish stocks. The expansion of the habitat of some organisms and algae due to the changes of the water level can be considered as a positive effect. Waves and currents will also carry some additional nutrients near the shore line for the use of certain populations.

The data dealing with the effects of underwater noise on fish was found very limited. When evaluating the effects of propeller-induced currents both the possible disturbance of the thermocline and the consequences should be studied in more detail.

The publication contains also data on the current legislation dealing with marine traffic and the environmental effects. Authorities try to decrease environmental impacts by speed limits and prohibitions of the wave formation. However, these limitations are often problematic.

Keywords

Ships, boats, marine traffic, environmental effects, waves, wave formation, currents, ecosystem, fish, fishing, underwater noise, erosion, legislation, speed limits, positive and negative effects

Other information

Series (key title and no.)
Publications of the Water and Environment
Administration – series A 166

ISBN
951-47-8490-1

ISSN
0786-9592

Pages
113

Language
Finnish

Price

Confidentiality
Public

Distributed by
Painatuskeskus Oy
P.O.Box 516, 00101 Helsinki, Finland

Publisher
National Board of Waters and the Environment
P.O.Box 250, 00101 Helsinki, Finland

ALKUSANAT

Teknillisen korkeakoulun Vesirakennuslaboratorio ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Laivatekniikan laboratorio käynnistivät vuonna 1992 alusliikenteen ympäristövaikutuksia koskevan tutkimusprojektin. Tutkimuksen päätavoitteena on tarkastella alusten muodostamia aaltoja ja virtauksia sekä niiden ympäristövaikutuksia, jotka ilmenevät mm. biologisina ja kalataloudellisina muutoksina vesiympäristössä. Suoranaisten fysikaalisten vaikutusten lisäksi tarkastellaan myös bioakustisia vaikutuksia, mutta alusten päästöt on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle.

Kaksivaiheisen tutkimuksen ensimmäinen vaihe sisältää pääosin kirjallisuuden ja asiantuntijahaastattelujen avulla toteutettavan esitutkimuksen, jonka lopputuloksena tämä raportti on julkaistu. Esitutkimuksen jälkeen seuraavan jatkotutkimusvaiheen tavoitteena on mallikokeiden ja luonnossa tapahtuvien mittausten avulla syventyä tarkemmin alusliikenteen vaikutuksiin. Tällöin on tarkoitus tutkia mm. erityyppisten alusten aallonmuodostusta aluskoon, etäisyyden ja nopeuden funktiona sekä aallokon vaikutuksia rantavyöhykkeellä.

Tässä esityksessä luodaan katsaus alusten aallonmuodostuksen, virtausilmiöiden ja melun teoriaan, tutkittuihin ja koettuihin vaikutuksiin sekä aiheita käsittelevään kirjallisuuteen. Edellä mainittujen fysikaalisten ilmiöiden seurannaisvaikutuksia ympäristössä tarkastellaan omissa luvuissaan alan asiantuntijoiden toimesta. Loppuosassa on tarkasteltu myös aiheeseen liittyvää lainsäädäntöä.

Varsinaisen kirjoitustyön tekijöiden lisäksi haluan kiittää kaikkia niitä lukuisia henkilöitä, jotka tiedoillaan ja neuvoillaan ovat edesauttaneet työn valmistumista. Erityisen kiitoksen ansaitsevat kaikki ne henkilöt, jotka ovat toimineet julkaisun esilukijoina ja arvokkailla kommentaillaan vaikuttaneet raportin lopputulokseen.

Julkaisun kirjoittamiseen ovat osallistuneet:

- Olli Madekivi: luvut 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ja 14
- Jorma Rytönen: luvut 4, 5, 6, 13 ja 14
- Olof Rönnerberg, Hans-Peter Fagerholm ja Magnus Östman: luvut 7.1. ja 12.1.1
- Marjut Rajasilta: luvut 7.2.1., 7.2.2. ja 7.2.3.
- Hannu Lehtonen: luku 7.2.4.
- Pekka Sundell: luku 7.3.

Espoossa 30.9.1993

Olli Madekivi

SISÄLLYS

ALKUSANAT	6
1 JOHDANTO	11
2 SUOMEN VESILIIKENTEEEN RAKENNE	12
2.1 Kotimaan vesiliikenne	12
2.2 Meriliikenne Suomen ja ulkomaiden välillä	17
2.3 Veneliikenne	19
3 ALUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN JAOTTELU	20
4 ALUSTEN MUODOSTAMAT AALLOT	22
4.1 Yleistä	22
4.2 Aallonmuodostuksen teoria	23
4.3 Aallonmuodostus matalassa vedessä	25
4.4 Aallonmuodostuksen arviointimenetelmiä	27
4.4.1 Aallon korkeuden ja pituuden arviointi	27
4.4.2 Havaintoja aluksen aiheuttamista aalloista	29
5 ALUSTEN AIHEUTTAMAT VIRTAAUKSET	30
5.1 Yleistä	30
5.2 Arviointimenetelmiä	32
5.3 Alusten aiheuttamat virtaukset rannan lähellä	34
5.4 Potkurivirtaukset	35
5.4.1 Yleistä	35
5.4.2 Potkurivirtausten arviointimenetelmiä	35
5.5 Virtausten aiheuttama sekoittuminen	41
6 ALUSLIIKENTEEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN HUOMIOINTI SUUNNITTELUSSA	42
6.1 Väylän suunnittelu	42
6.2 Ulkoiset olosuhteet	43
6.3 Aluksen ominaisuudet	44
6.4 Aluksen rungon suunnittelu ja nopeusrajoitukset	44
6.5 Johtopäätöksiä	45
7 ALUSLIIKENTEEEN EKOLOGISET YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	46
7.1 Laivaliikenteen vaikutukset saariston matalan veden ekosysteemissä	46
7.1.1 Johdanto	46
7.1.2 Laivaliikenteen aiheuttamat veden liikkeet	47
7.1.3 Vaikutukset matalilla pohjilla	47
7.1.4 Kallioaltaat laivaväylän varrella	50
7.1.5 Rakkolevä väyläaaltojen indikaattorina	51

7.1.6	Yhteenveto	52
7.2	Laivaliikenteen vaikutukset kalatalouteen merialueella	53
7.2.1	Johdanto	53
7.2.2	Liikenteen vaikutustavoista	53
7.2.2.1	Vaikutukset kalojen käyttäytymiseen	55
7.2.2.2	Vaikutukset kalojen lisääntymiseen ja poikastuotantoon	56
7.2.3	Kalojen elinympäristössä tapahtuvat muutokset	58
7.2.4	Laivaliikenteen vaikutukset kalastukseen ja kalankasvatukseen	59
7.2.4.1	Laivaliikenteen vaikutus pyydyksiin ja kasvatusalaksiin	59
7.2.4.2	Aallokon vaikutus kalastustapahtumaan	60
7.2.4.3	Kalastusalueiden menetykset	60
7.2.4.4	Aallokon ja melun vaikutukset kalojen määrään	60
7.3	Vedenalaisen melun vaikutukset kalastoon	61
7.3.1	Johdanto	61
7.3.2	Kalojen äänet ja niiden merkitys	62
7.3.3	Kalojen kuulokyky	62
7.3.4	Taustamelun lisääntymisen vaikutus kalojen käyttäytymiseen ja kommunikointiin	65
8	ALUSLIIKENTEN VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖN MORFOLOGIAAN	67
8.1	Yleistä	67
8.2	Eroosio	69
8.2.1	Rannan eroosioherkkyys	71
8.2.2	Ruotsalaisten tutkimusten soveltaminen Suomen olosuhteisiin	73
8.3	Kiintoaineen kulkeutuminen	73
9	VESIEN KÄYTTÖÖN KOHDISTUVIA VAIKUTUKSIA	75
9.1	Yleistä	75
9.2	Alusten peräaalloista syntyvät haitat	76
9.3	Alusten aiheuttamien virtausten haitat	77
10	ALUSTYYPIN JA KÄYTTÖTARKOITUKSEN MERKITYS YMPÄRISTÖ- VAIKUTUSTEN SYNTYMISEEN	78
10.1	Autolautat	78
10.2	Rahtialukset	78
10.3	Puolustusvoimien kalusto	79
10.4	Pelastustoimintaan, sairaankuljetukseen ja virka-ajoon liittyvät alukset	82
10.5	Veneet	82
11	LAIVA- JA VENELIIKENNETTÄ KÄSITTELEVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ	83
11.1	Yleistä	83
11.2	Kulkuväylät	83
11.3	Nopeusrajoitukset	84
11.3.1	Nopeusrajoitukset Saaristomerellä	86

11.4	Ympäristöhaittojen korvaaminen	86
11.4.1	Kalasto ja kalastus	87
11.4.2	Rantaympäristö	88
11.5	Uudet lakiesitykset	88
11.5.1	Ehdotus vesiliikennelaiksi	88
11.5.2	Ehdotus laiksi ympäristövahinkojen korvaamisesta	90
11.5.3	Ympäristövaikutusten arviointi (YVA '92 -työryhmän mietintö)	91
12	VESILIIKENTTEEN HYÖDYT JA VAHINGOT YMPÄRISTÖLLE	93
12.1	Yleistä	93
12.2	Hyötyjen ja vahinkojen arviointi	94
12.2.1	Eliöyhteisöt	95
12.2.2	Kalatalous	95
12.2.3	Muut vaikutukset	96
13	YHTEENVETO	96
14	JATKOTUTKIMUKSET	100
	KIRJALLISUUS	102

1 JOHDANTO

Merenkulun ympäristövaikutuksista on viime vuosina keskusteltu tiiviisti. Näkyvimmin ovat esillä olleet kysymykset merenkulun turvallisuudesta sekä öljy- ja kemikaalionnettomuuksista, mutta myös itse liikennöinnin vaikutukset herkälle saaristoympäristölle ovat herättäneet kiivastakin väittelyä. Etenkin Suomen ja Ruotsin välinen autolauttaliikenne on ollut kritiikin kohteena arvioitaessa Tukholman, Ahvenanmaan ja Turun saariston luontoympäristössä havaittuja haittavaikutuksia.

Useiden eri viranomaisten, tutkimuslaitosten ja muiden tahojen kanssa käydyissä keskusteluissa on käynyt ilmi, että alusliikenteen luonnonympäristölle aiheuttamien vaikutuksien tutkimukselle on olemassa ilmeinen tarve. Laivojen ja veneiden ympäristöpäästöistä on juuri valmistunut tutkimuksia, mutta alusliikenteen hydrofysikaalisten vaikutusten arvioiminen on toistaiseksi ollut puutteellista.

Kiinnostus laivaliikenteen vaikutuksiin on ollut aivan viime vuosina erityisen voimakasta etenkin Ruotsissa, missä on keskitytty paljolti eroosiotutkimuksiin. Sekä Suomessa että Ruotsissa tehdyt tutkimukset ovat sisältäneet arvokasta, joskin hajanais-ta tietoa, jonka kattavaa kokoamista yksiin kansiin on pidetty tärkeänä. Viranomaiset ovat kaivanneet mm. erilaisten alusten aallonmuodostuksesta perustietoa, jonka perusteella voitaisiin tarkastella esimerkiksi nopeusrajoitusten säätämistä selkeämmältä pohjalta.

Tutkimuksen käynnistämistä on vaikeuttanut alusten ympäristövaikutusten ulottuminen monelle eri sektorille, jolloin mikään ministeriö ei ole kokenut ongelmaa varsinaisesti omaksi asiakseen. Lisäksi varsinkin ympäristöministeriö on viitannut ympäristöhaittojen tutkimuksen vastuukysymyksessä aiheuttamisperiaatteeseen, jonka mukaan varustamot voitaisiin velvoittaa tutkimuksen maksajiksi.

Tämän tutkimuksen rahoitukseen ovat osallistuneet seuraavat tahot:

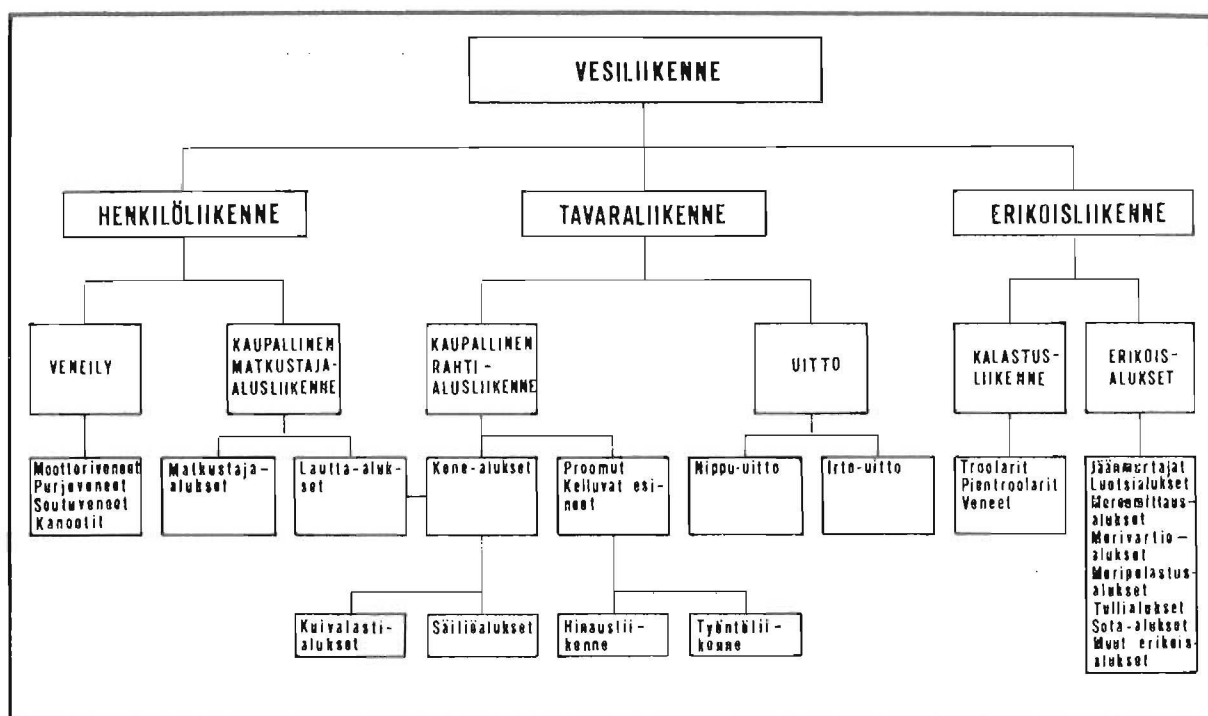
Teknillinen korkeakoulu
Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Maa- ja metsätalousministeriö
Ympäristöministeriö
Merenkulkuhallitus
Vesi- ja ympäristöhallitus
Nordiska Ministerrådet
Skärgårdssamarbete
Finlandssvenska kommunförbund
Turun kaupunki
Silja Line Oy

2 SUOMEN VESILIIKENTEEEN RAKENNE

Olli Madekivi

Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

Vesiliikenne voidaan jakaa mm. kulkuvesien tai liikenteen tarkoituksen mukaan. Kulkuvesien perusteella erotellaan sisävesiliikenne, rannikko- ja saaristoliikenne, sisämeriliikenne ja valtameriliikenne. Liikenteen tarkoituksen mukaan erotetaan henkilöliikenne, tavaraliikenne ja erikoisliikenne (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 1988). Vesiliikenteen jaottelu ilmenee kuvasta 1.



Kuva 1. Vesiliikenteen jaottelu liikenteen tarkoituksen mukaan (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 1988).

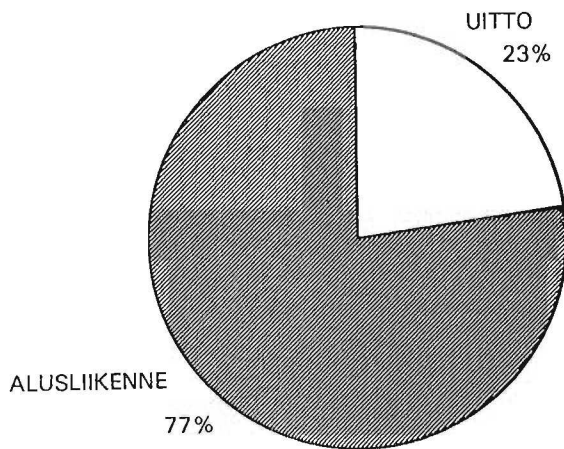
Merenkululaitoksen tilastoissa vesiliikenne jaetaan vain henkilö- ja tavaraliikenteeseen. Tällöin henkilöliikenteeseen luetaan matkustaja-alusliikenne ja veneily, tavaraliikenteeseen alusliikenne ja uitto (Merenkululaitos 1993).

Tässä yhteydessä vesiliikenteen rakennetta ja määrää selvitetään jakamalla liikenne kotimaan vesiliikenteeseen, meriliikenteeseen Suomen ja ulkomaiden välillä sekä veneliikenteeseen.

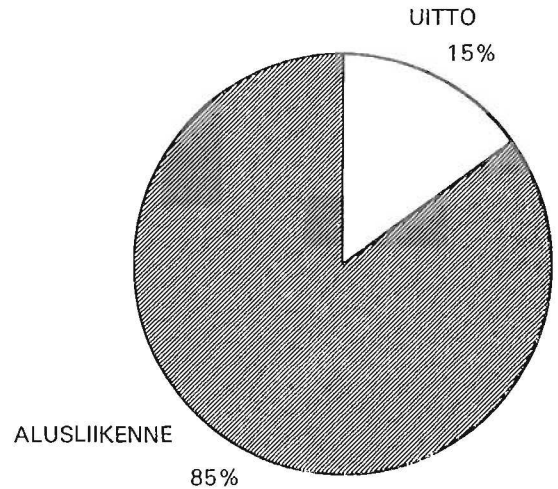
2.1 Kotimaan vesiliikenne

Kotimaan vesiliikenteen osalta vuoden 1992 kuljetusmäärät ja kuljetussuoritteet selviävät kuvista 2 ja 3. Tavarankuljetusmäärän ja kuljetussuoritteiden kehittyminen vuosina 1981-1992 on esitetty kuvissa 4 ja 5.

KULJETUSMÄÄRÄ

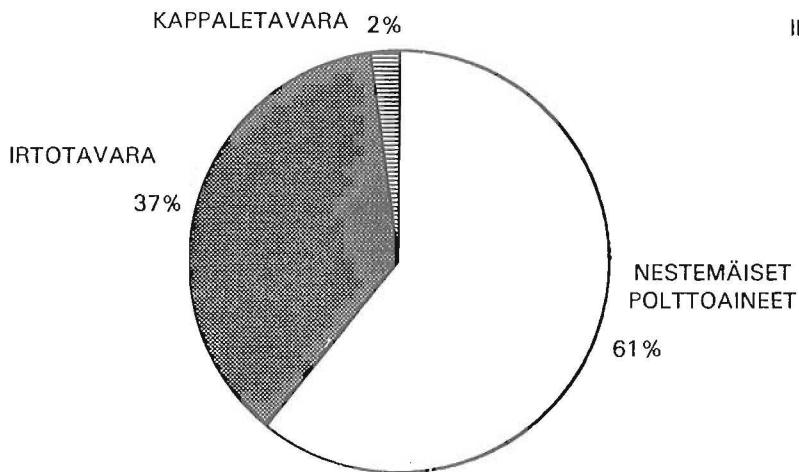


KULJETUSSUORITE

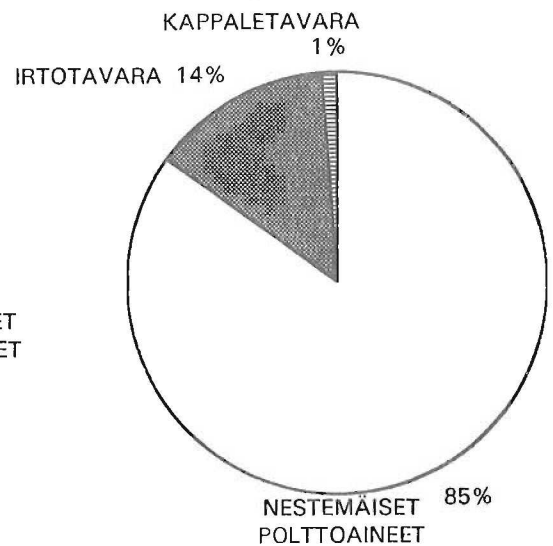


Kuva 2. Uiton ja alusliikenteen osuus kotimaan vesiliikenteen tavarankuljetusmäärästä ja -suoritteesta vuonna 1992 (Merenkulkulaitos 1993 a).

TAVARAMÄÄRÄ



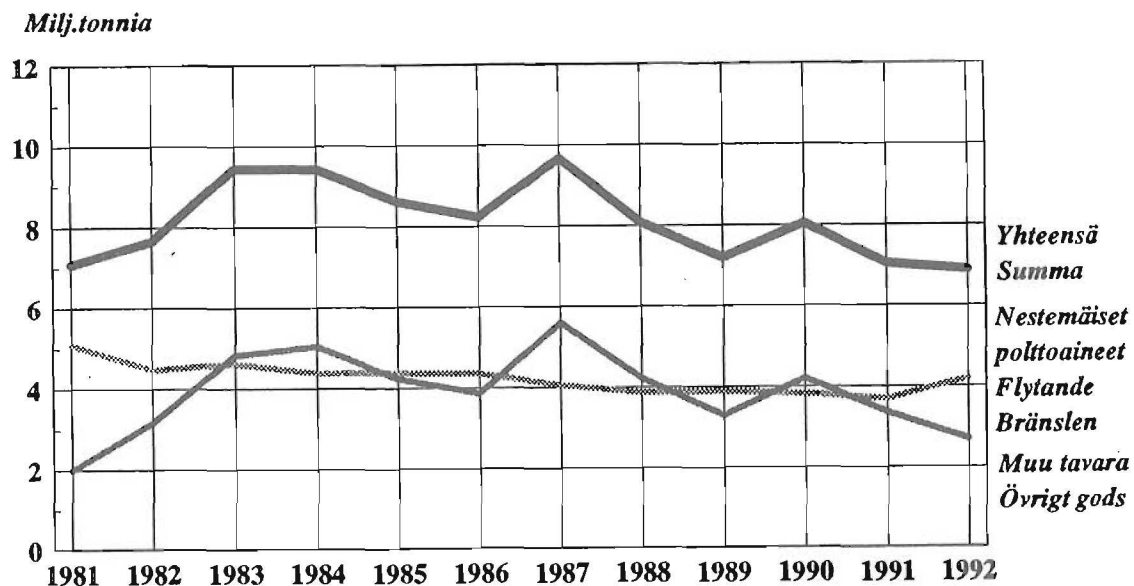
KULJETUSSUORITE



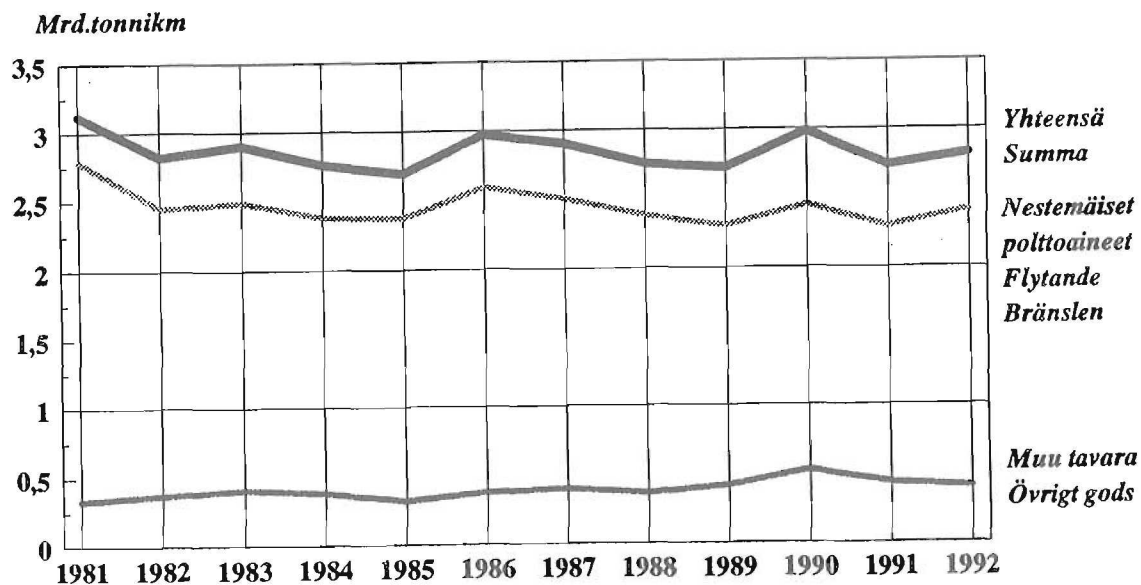
Kuva 3. Kotimaan alusliikenteen tavaramäärän ja kuljetussuoritteiden jakaantuminen eri tavararyhmien kesken vuonna 1992 (Merenkulkulaitos 1993 a).

Merenkulkulaitoksen tilastoissa on kotimaan henkilöliikenteen osalta mukana vain henkilöliikennettä harjoittavat yritykset ja liikennöitsijät, joiden antamiin tietoihin oheiset tilastotiedot perustuvat.

Merenkulkulaitoksen hoitama yhteysalusliikenne keskittyy Lounais-Suomen saaristoon, missä vuonna 1992 kuljetettiin yhteysaluksilla 155 000 matkustajaa ja 24 000 tonnia tavaraa.



Kuva 4. Kotimaan alusliikenteen tavaramäärä vuosina 1981-1992 (Merenkulkulaitos 1993 a).



Kuva 5. Kotimaan alusliikenteen tavarankuljetussuorite vuosina 1981-1992 (Merenkulkulaitos 1993 a).

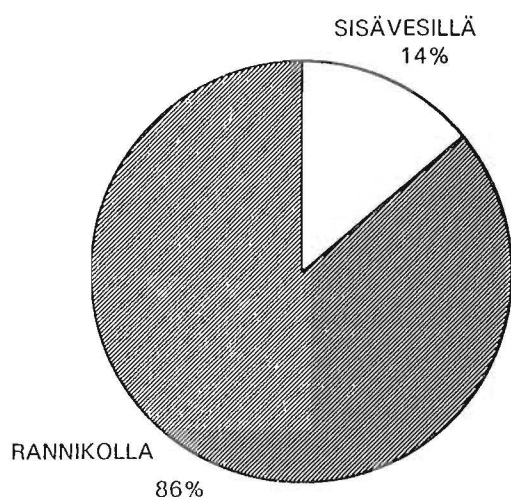
Sisävesien tavaraliikenteestä 1,55 miljoonaa tonnia kulki Saimaan kanavan kautta, mutta määrästä vain 10 % oli kotimaan liikennettä. Muiden valtion sulkukanavien kautta kulkevan tavaraliikenteen määrä oli yhteensä 3,18 milj. tonnia, mistä raakapuun uiton osuus oli 2,4 milj. tonnia.

Ahvenanmaan osalta kotimaan henkilö- ja tavaraliikenne käsittää paitsi vain väliä Ahvenanmaa - mantere liikennöivät alukset, myös Suomen ja Ruotsin välillä liikennöivät autolautat. Ahvenanmaan sisäisessä liikenteessä, joka on valtaosaltaan

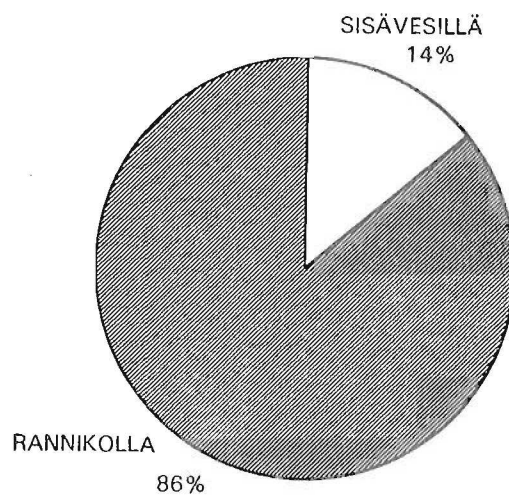
maakuntahallituksen hoitamaa yhteysalusliikennettä, kulki viime vuonna 617 000 matkustajaa. Autolautoilla kulkeneita matkustajia Ahvenanmaan ja mantereen välillä oli 307 000 henkilöä.

Ahvenanmaan koko tavaraliikenteestä oli vuonna 1992 43 % kappaletavaraliikennettä, jonka kuljetus tapahtuu Suomen ja Ruotsin välillä liikennöivillä autolautoilla. Mainittakoon vielä, että kotimaan alusliikenteen kappaletavaraliikenteestä kuljetettiin 98 % Turun/Naantalın ja Ahvenanmaan välillä liikennöivillä matkustaja-autolautoilla.

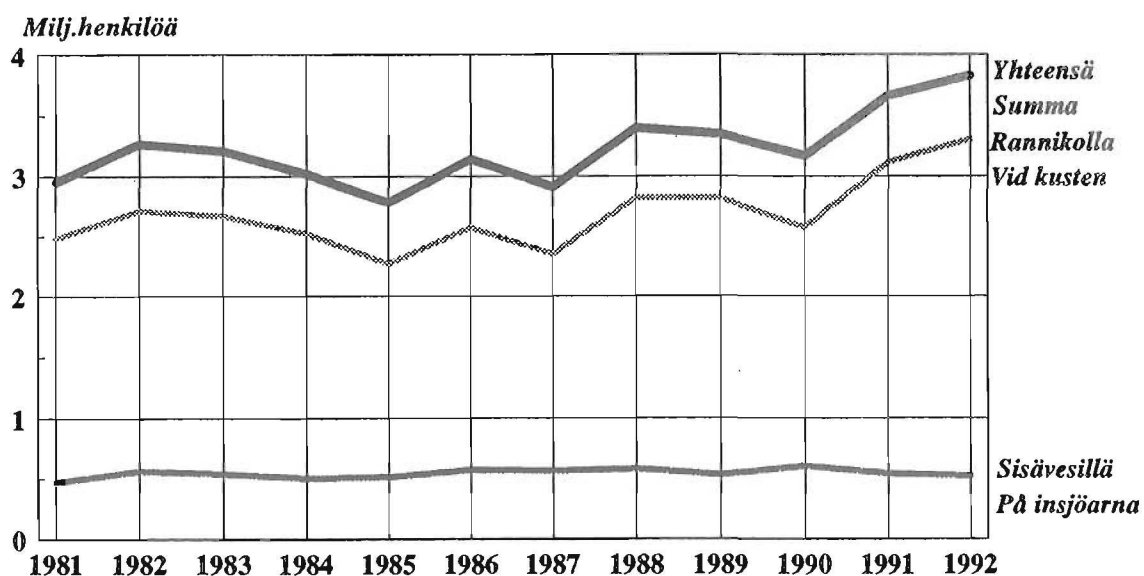
MATKUSTAJAMÄÄRÄ



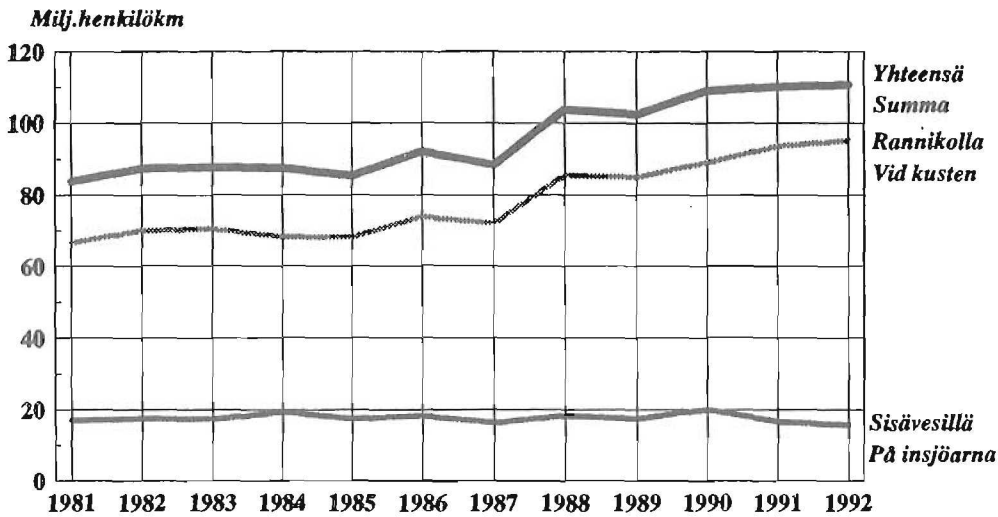
KULJETUSSUORITE



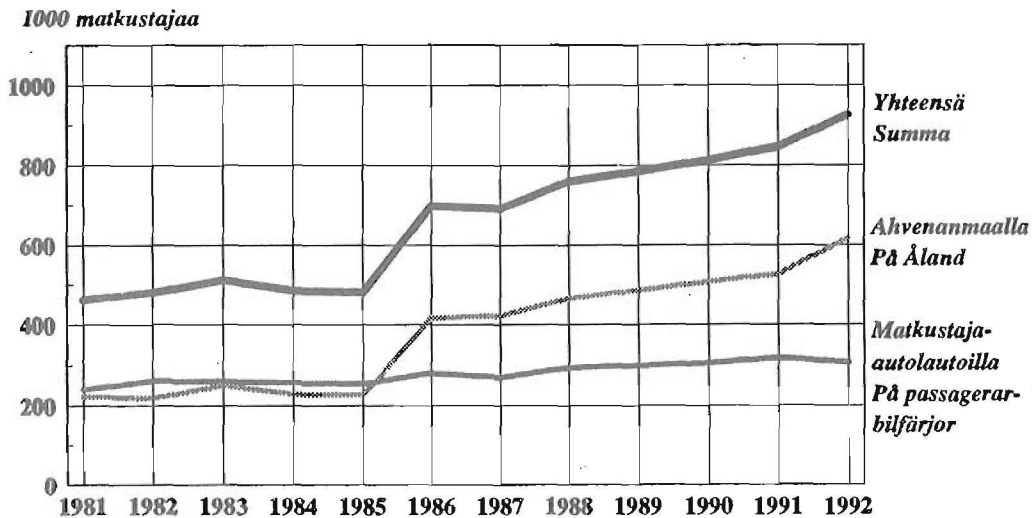
Kuva 6. Kotimaan vesiliikenteen matkustajamäärän ja kuljetussuoritteiden jakaantuminen rannikko- ja sisävesien kesken vuonna 1992 (Merenkulkulaitos 1993 a).



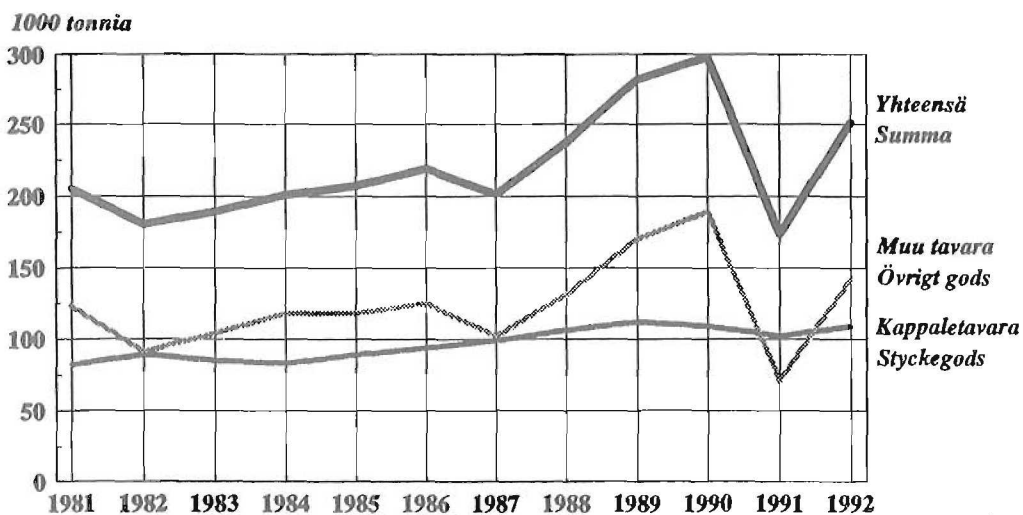
Kuva 7. Kotimaan vesiliikenteen matkustajamäärä vuosina 1981-1992 (Merenkulkulaitos 1993a).



Kuva 8. Kotimaan vesiliikenteen henkilökuljetussuorite vuosina 1981-1992 (Merenkulkulaitos 1993 a).



Kuva 9. Ahvenanmaan henkilöliikenne vuosina 1981-1992 (Merenkulkulaitos 1993a).



Kuva 10. Ahvenanmaan tavaraliikenne vuosina 1981-1992 (Merenkulkulaitos 1993a).

2.2 Meriliikenne Suomen ja ulkomaiden välillä

Vuonna 1992 kulki Suomen ja ulkomaiden välisestä tavaravaihdosta kaikkiaan 84,6% meritse; 78,6 % tuonnista ja 94,0 % viennistä (Merenkululaitos 1993 b). Satamien yhteenlaskettu ulkomaisten merikuljetusten tavaramäärä oli noin 60 miljoonaa tonnia, josta tuontia noin 32 ja vientiä noin 28 miljoonaa tonnia.

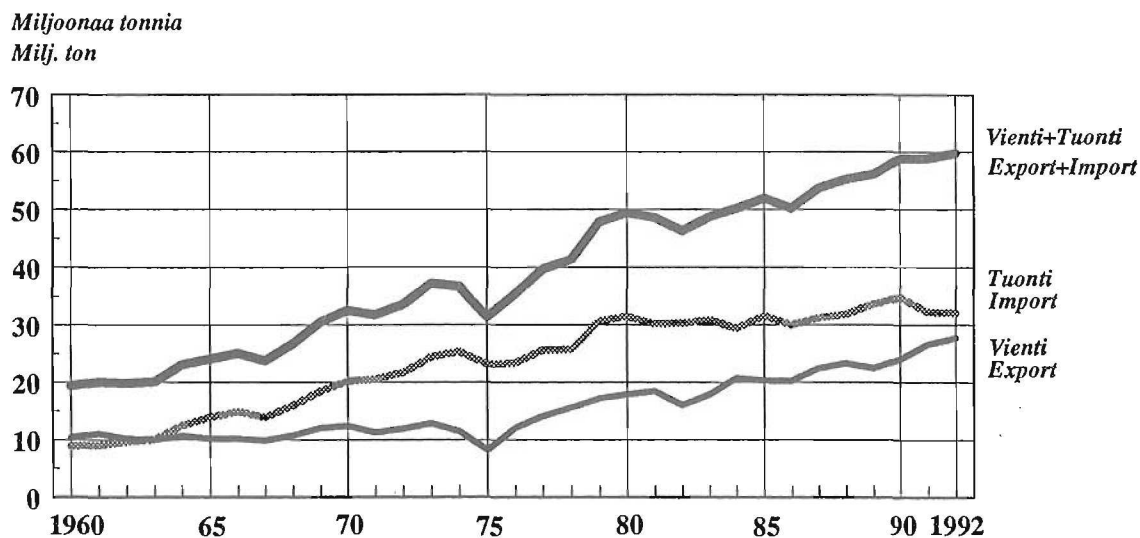
Transito- eli kauttakulkuliikenteen osuus oli vuonna 1992 6,8 % kaikista satamiemme ulkomaisista merikuljetuksista. Suomalaisten alusten osuus kaikista merikuljetuksista oli 35,0 % .

Merikuljetusten kokonaiskuljetussuorite (tavaratonnimäärä x kuljetusmatka) oli viime vuonna noin 157 000 miljoonaa tonnikilometriä, josta suomalaisen tonniston osuus oli 20,3 %.

Tavarakuljetuksista voidaan tärkeimpinä tavararyhminä pitää tuonnin osalta kivennäisöljyä (11,4 milj. tonnia), kivihiiltä ja koksia (4,7), kappaletavaraa (3,9), raakamineraaleja (3,7), malmeja ja rikasteita (3,7) sekä sahaamatonta puutavaraa (2,0). Viennin suurimmat tavararyhmät ovat paperi, pahvi ja kartonki (6,7 milj. tonnia), kappaletavara (5,3), kivennäisöljyt (4,8), kemikaalit (2,7), sahattu puutavara (2,3) sekä metallit ja metalliseokset (1,7).

Henkilöliikenteen kuljetussuorite oli vuonna 1992 3438 miljoonaa henkilökilometriä. Henkilöliikenteessä Suomen ja ulkomaiden välillä kulki noin 13,0 miljoonaa henkilöä, joista 76,2 % eli 9,9 miljoonaa kulki Suomen ja Ruotsin välillä. Kasvua edellisvuoteen on tullut 5,2 % ja vuoteen 1983 88,0 %.

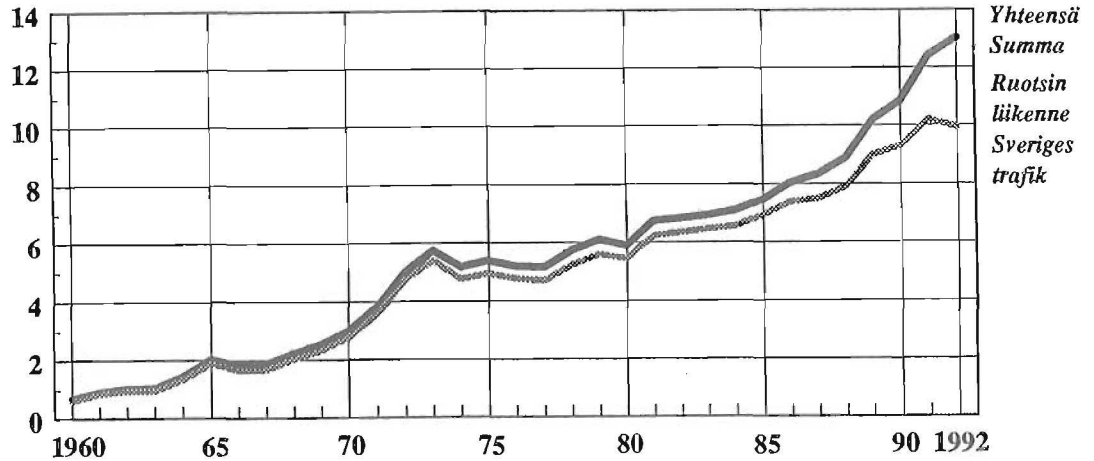
Henkilöliikenteen kasvu aiheutui lisääntyneestä Tallinnan liikenteestä sekä 24 tunnin risteilyistä. Ruotsin liikenne laski ensimmäisen kerran moneen vuoteen ollen matkustajamäärältään lähes 300 000 pienempi edelliseen vuoteen verrattuna.



Kuva 11. Suomen ja ulkomaiden väliset merikuljetukset vuosina 1960 -1992 (Merenkululaitos 1993 b).

Ruotsin liikenteellä on kuitenkin edelleen hallitseva asema ulkomaan matkustajaliikenteestä (76,2 %). Viime vuonna sekä saapuneita että lähteneitä matkustajia oli lähes 5 000 000.

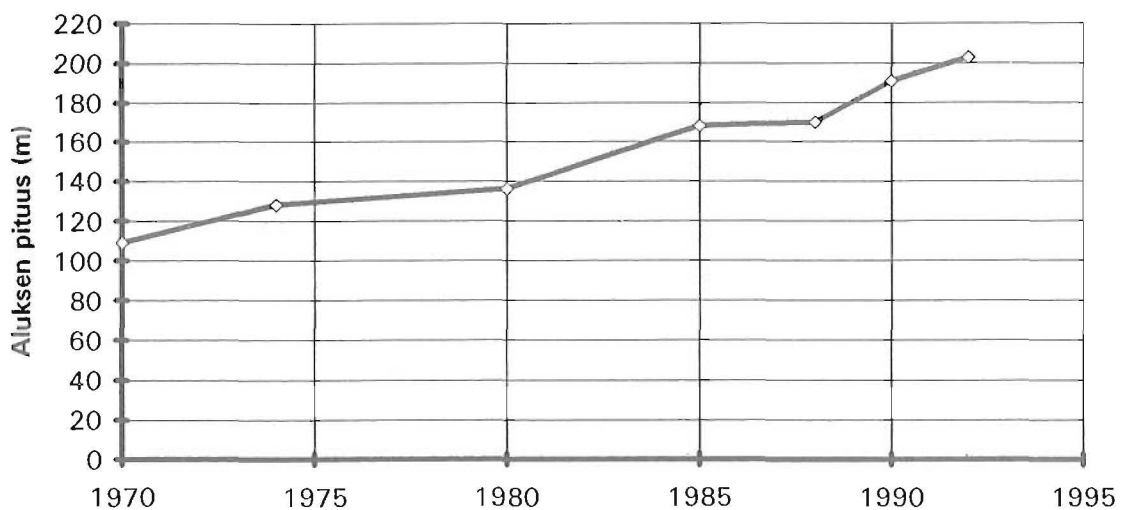
Miljoonaa matkustajaa
Milj. passagerare



Kuva 12. Suomen ja ulkomaiden välinen matkustajaliikenne vuosina 1960 -1992 ja liikenne Suomen ja Ruotsin välillä liikennöivillä matkustaja-autolautoilla (Merenkululaitos 1993 b).

Kuten edellä esitetyistä kuvista huomataan, on ulkomaan liikenteen tavaramäärä kaksinkertaistunut ja matkustajamäärä nelinkertaistunut vuodesta 1970. Liikennemääräen lisääntymisen selittää paitsi alusten lukumääräinen kasvu, myös huomattavasti kasvaneet aluskoot. Suomen ja Ruotsin välillä liikennöivien autolautojen pituudet ovat lähes kaksinkertaistuneet runsaan kahden vuosikymmenen aikana (109 metristä 203 metriin). Kehitys on ollut samansuuntaista myös alusten muiden mittojen suhteen: leveys on kasvanut 17,0 metristä 31,5 metriin ja syväys 4,7 metristä 6,8 metriin.

Aluskoon kehitystä vuosina 1970 - 1992 voidaan tarkastella kuvasta 13.



Kuva 13. Vuosina 1970-1992 Suomen ja Ruotsin välillä liikennöineiden autolautojen pituuksia .

2.3 Veneliikenne

Veneiden tarkka lukumäärä Suomessa ei toistaiseksi ole tiedossa, vaan arviot venekannasta ovat pitkälti summittaisia (Liikenneministeriö 1992). Näin ollen myös veneliikenteen määrän arvioiminen on vaikeaa. Asia saattaa korjaantua suunnitellun venerekisterilain toteutuessa, mikä ei kuitenkaan tällä hetkellä näytä todennäköiseltä.

Koska tässä raportissa selvitetään kuitenkin lähinnä alusten aalto- ja virtausvaikutuksia, jotka lienevät merkittäviä vain kookkaimpien veneiden kohdalla, ei ole tarpeellista tietääkään koko venekannan määrää. Näin voidaan pitää tarkoituksenmukaisena tarkastella lääninhallitusten ylläpitämää moottorivenerekisteriä, johon kuuluvat perämoottoriveneet, joiden moottoriteho on vähintään 20 hevosvoimaa ja sisäperämoottoriveneet, joiden teho on vähintään 50 hevosvoimaa. On kuitenkin huomioitava, että tämäkään rekisteri ei ole täysin ajan tasalla, vaan se sisältää tuntemattoman määrän 'haamuveneitä', joiden käytöstä poistamisen ilmoitusvelvollisuus on laiminlyöty.

Lääninhallitusten moottorivenerekisteriin merkittyjä veneitä oli 31.12.1990 yhteensä 137 629 kpl (taulukko 1). Erilaisista venekanta-arvioista Veneliikennetoimikunnan mietinnössä (Liikenneministeriö 1992) arvioidaan moottoriveneitä olevan maassamme kaikkiaan noin 300 000, joista pituudeltaan yli 10 metrisiä on noin 3000. Vertailun vuoksi mainittakoon, että Ruotsin huvivenerekisterissä oli toukokuussa 1992 rekisteröitynä 282 000 venettä (Liikenneministeriö 1992). Rekisteriin on Ruotsissa ilmoitettava kaikki moottori- ja purjeveneet, joiden pituus on vähintään 5 metriä, tai joiden moottorin teho ylittää 10 kW (14 hv).

Taulukko 1. Lääninhallitusten moottorivenerekisteriin merkittyjen veneiden lukumäärä 31.12.1990. (Liiketaloustieteellinen tutkimuslaitos 1991)

Lääni	Rekisteröityjä veneitä	
	Lukumäärä	%
Uudenmaan	45338	33,0
Turun ja Porin	24926	18,1
Ahvenanmaan	3001	2,2
Hämeen	9936	7,2
Kymen	13700	10,0
Mikkelin	8090	5,9
Pohjois-Karjalan	3269	2,4
Kuopion	5809	4,2
Keski-Suomen	5165	3,7
Vaasan	10110	7,3
Oulun	5340	3,9
Lapin	2945	2,1
Yhteensä	137 629	100,0

Veneiden käytöstä ja veneilyn laajuudesta voidaan tehdä suuntaa antavia arvioita erilaisten kyselyjen ja veneliikennelaskentojen valossa. Helsingin kaupungin veneilytutkimuksen mukaan kesäloma-aikana yli 70 % veneilijöistä käyttää venettään vähintään 3-4 kertaa viikossa (Eloheimo 1992). Kesäloman ulkopuolisena aikana kolmannes veneilijöistä käyttää venettään viikottain 3-4 kertaa tai useammin.

Saaristomerellä vilkkaaseen kesäloma-aikaan vuonna 1988 tehdyn selvityksen mukaan yöpyvien venekuntien keskimääräinen matkan kesto oli 16,7 päivää (Hyppönen ja Hokka 1989). Moottoriveneiden matkan kesto oli noin 12 päivää ja pituus noin 282 meripeninkulmaa. Selvitys tehtiin tiedustelemalla yöpyvien veneilijöiden matkareittejä, joten päivämatkailuveneet jäivät laskennan ulkopuolelle. Kyselyn tulokset veneilijöiden matkan kestosta selviää taulukosta 2.

Taulukko 2. Veneilijöiden venematkojen kesto Saaristomerellä kesällä 1988 (Hyppönen ja Hokka 1989).

Matkan kesto vrk	Veneiden lukumäärä	
	kpl	%
1 - 3	95	15,6
4 - 8	77	12,6
9 - 15	128	21,0
16 - 29	245	40,2
30 -	65	10,6
Yhteensä	610	100,0

3 ALUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN JAOTTELU

Olli Madekivi

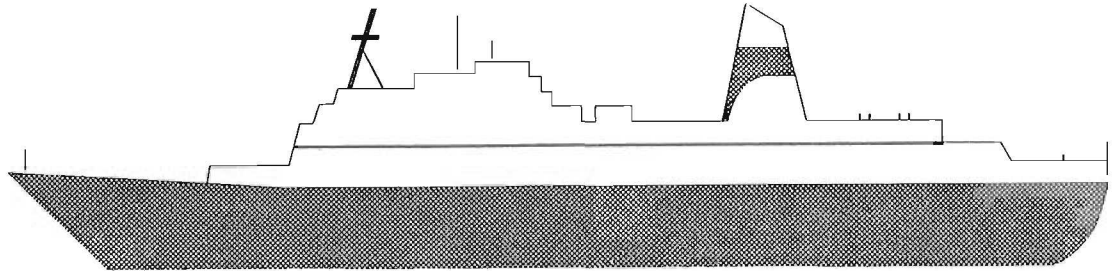
Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

Aluksen liikkumisen ympäristövaikutukset voidaan jakaa välittömiin, suoriin vaikutuksiin ja näistä johtuviin välillisiin seurannaisvaikutuksiin. Vaikutusten jaottelu ilmenee kuvasta 14.

Aallot ja virtaukset ovat välittömiä aluksen liikkumisesta syntyviä vaikutuksia, jotka siirtävät osan liikkumiseen tarvittavasta energiasta ympäristöön.

Muita välittömiä aluksen liikkeen vaikutuksia ovat mm. päästöt ilmakehään ja mereen sekä karilleajon tai muun merionnettomuuden seurauksena ympäristöön joutuneet kemikaali-, öljy- yms. päästöt. Aluksen liikennöimiseen liittyy kiinteästi myös erilaiset satamatoiminnot, joiden ympäristövaikutuksien käsittely ei kuitenkaan sisälly tähän tutkimukseen..

Liikkuvan aluksen synnyttämä melu koostuu useista erilaisista melulähteistä. Kokonaismelu muodostuu mm. mekaanisesta moottorimelusta, pakokaasumelusta, imumelusta, tuuletinmelusta, potkurimelusta, rungon värähtelyistä, veden kohinasta ja erilaisista informatiivisista äänistä (Lunden 1992). Merkittävä osuus kokonaismelusta saattaa jääpeitteen aikana syntyä jäiden rikkoontumisesta ja törmäilystä aluksen pohjaan.



VÄLITTÖMÄT VAIKUTUKSET		
AALLONMUODOSTUS	VIRTAUKSET - imu- ja painevaikutus - potkurivirtaukset	PÄÄSTÖT - veteen - ilmaan



SEURANNAISVAIKUTUKSET YMPÄRISTÖSSÄ		
EKOLOGIA - kalat - kasvit - pieneliöstö	MORFOLOGIA - eroosio - sedimentaatio	VESIEN KÄYTTÖ - kalastus - veneily - laituri- yms. rantarakenteet

Kuva 14. Aluksen liikkumisesta aiheutuvat välittömät vaikutukset sekä niiden seurannaisvaikutukset ympäristössä.

Tässä esityksessä käsitellyt ilmiöt ja niiden ympäristövaikutukset liittyvät erilaisten alusten liikkumisesta aiheutuviin seuraamuksiin. Aihe on lisäksi rajattu siten, että alusten päästöt, vedenalaista melua lukuunottamatta, eivät sisälly tähän asiakokonaisuuteen. Tässä tarkastellaan vain aluksen toimintaan liittyviä fysikaalisia vaikutuksia eli aaltoja, virtauksia ja melua. Näistä voidaan käyttää myös määritystä 'mekanismit,

jotka siirtävät aluksen liikkeestä johtuvat vaikutukset ympäristöön'. Nyt käsitellyt asiat sopivat ehkä parhaiten otsikon 'merenkulun ja veneilyn hydrodynaamiset vaikutukset' alle.

Välillisiä vaikutuksia ovat edellä mainittujen 'mekanismien' seurannaisvaikutukset biologiseen, morfologiseen ja rakennettuun ympäristöön. Nämä vaikutukset ilmenevät mm. muutoksina rantavyöhykkeen kasvillisuudessa ja pieneliöstössä sekä väylän läheisyyden kalakannoissa. Aaltojen vaikutuksesta voi johtua kalastuksen vaikeutumista aallokon heiluttaessa kalastusveneitä. Toisaalta alusten vaikutukset voivat ilmetä pyydysten nopeampana likaantumisenä tai pyydysten kiinnityksen pettäessä. Mekaaninen rasitus vaikuttaa herkimmillä maa-alueilla mm. rantaeroosiona. Myös rannassa olevat rakenteet kuten laiturit joutuvat lisäkuormituksen kohteeksi. Laitureihin kiinnitetyt ja vesialueilla liikkuvat veneet saattavat toisinaan kärsiä vahinkoja toisten alusten aalloista.

Vedenalaisesta melusta johtuvat bioakustiset vaikutukset ilmenevät lähinnä muutoksina kalojen käyttäytymisessä. Asia on vielä kuitenkin melko outo, eikä vaikutusten merkittävyyydestä ja laajuudesta ole toistaiseksi tutkimusperäistä tietoa.

4 ALUSTEN MUODOSTAMAT AALLOT

Jorma Rytönen

Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Laivatekniikan laboratorio

4.1 Yleistä

Alusliikenteessä on tunnusomaista ollut viime vuosina aluskoon, tehon ja kulkunopeuden kasvu.

Aluksen aiheuttamat hydrauliset ympäristövaikutukset voidaan jakaa kahteen peruskategoriaan: Normaalilla nopeudella tapahtuvasta liikenteestä aiheutuvat vaikutukset ja hitaalla ohjailunopeudella tapahtuvasta ohjailusta aiheutuvat vaikutukset. Normaalilla nopeudella tapahtuvan liikenteen keskeiset kuormituselementit ovat aluksen aiheuttamat aallot, uppoumavirtaus (takaisinvirtaus) ja potkurivirtaukset. Nämä ilmiöt vaikuttavat samanaikaisesti, mutta niiden vaikutukset ympäristöön riippuvat aluksen koosta, muodosta, alusnopeudesta, sijainnista väylällä ja ympäristöolosuhteista.

Hitaalla nopeudella tapahtuva ohjailu on tunnusomaista esimerkiksi satamassa, hinaus- tai puskutoiminnassa. Tällöin ympäristöön kohdistuvat vaikutukset aiheutuvat lähes yksinomaan potkurivirtauksista. Aluksen koneita käytetään ajoittain suurilla kierroksilla, jolloin ahtailla ja matalilla vesialueilla voi helposti aiheutua eroosiota ja pohjasedimenttien liikettä.

Rantaerosion kannalta aluksen vaikutus voidaan jakaa kahteen osavaiheeseen: Aluksen aiheuttamiin aaltoihin ja virtausvaikutuksiin.

Aluksesta aiheutuvat aallot lyövät rantaan, ja murtuessaan rantaan indusoivat voimakkaita turbulenttisia virtauksia ja pyörteitä, jotka voivat irrottaa ja löyhdyttää maa-ainesta. Irronnut maa-aines tulee tällöin alttiiksi aluksen aiheuttamille virtauksille, jotka kuljettavat irronneen materiaalin pois eroosioalueelta. Mikäli alusliikenne on jatkuvaa, on seurauksena tarkastelukohdan jatkuva eroosioprosessi, hienoaineksen poistuminen ja rantamateriaalin lajittuminen. Pohjamateriaalissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat myös alueen kasvistoon ja koko eliöstöön.

Potkurivirtausten lisäksi on aluksesta aiheutuvien virtausten todettu ulottuvan myös verrattain syvälle, jolloin alusliikenteestä aiheutuvat muutokset eivät rajoitu vain aivan rantaviivan tuntumaan, vaan saattavat ulottua hyvinkin laajalle alueelle rantaviivasta ulospäin. Potkurivirtausten voimakas sekoittava vaikutus häiritsee myös meriveden kerrostuneisuutta erityisesti kesäaikana, jolloin seurauksena on ravinnerikkaan alusveden joutuminen pintaveteen. Tämä osaltaan lisää levien kasvua, hapen kulutusta ja muuttaa pintaveden suolaisuutta.

4.2 Aallonmuodostuksen teoria

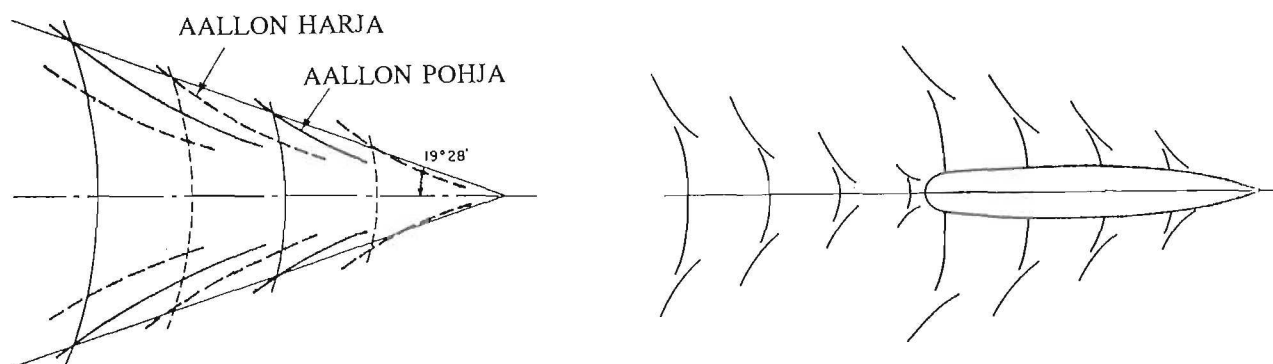
Aluksen kokonaisvastus jaetaan periaatteessa seuraaviin osatekijöihin: viskoosiin kitkavastukseen, pyörrevastukseen (vanavesi) ja aallonmuodostusvastukseen. Viimeksimainituista pyörre- ja aallonmuodostusvastuksesta käytetään yhteistä nimeä, jäännösvastus. Tässä yhteydessä ei aluksen veden pinnan päällisten osien ilman vastusta huomioida, vaan oletetaan kokonaisvastuksen koostuvan vain vedenalaisten osien ja veden välisestä vuorovaikutuksesta.

Yleensä jäännösvastuksen oletetaan olevan verrannollinen muodostuvien aaltojen aallonkorkeuden neliöön. Oletus on melko karkea, ja erityisesti runkonopeutta hitaammilla alusnopeuksilla lukuisat rungon yksityiskohdat ja muut ulkoiset häiriötekijät saattavat vaikuttaa aaltosysteemin aallon korkeuteen.

Veden pinnassa kulkevan kappaleen aallonmuodostusta voidaan ymmärtää painevaihteluina jotka vaikuttavat painejakautumaan kappaleen pinnalla. Muodostuvaa keulan ja perän nettovoimaa kutsutaan aallonmuodostusvastukseksi (Lewis, E.V., 1988).

Muodostunutta aaltosysteemiä voidaan kuvata melko tarkasti. Kelvinin 1800-luvulla kehittämän aaltoteorian avulla. Teorian mukaisesti yksittäinen painepiste kulkiessaan veden pinnalla aiheuttaa aaltoja. Aallot jaetaan kahteen peruskategoriaan: Etenevän pisteen taakse muodostuviin, kulkusuuntaan nähden poikittaisiin aaltoihin ja pisteestä eroaviin aaltoihin. Molempien aaltorintamien harjat kohtaavat suoralla, joka muodostaa $19^{\circ} 28'$ min kulman pisteen etenemissuunnan kanssa, kuva 15.

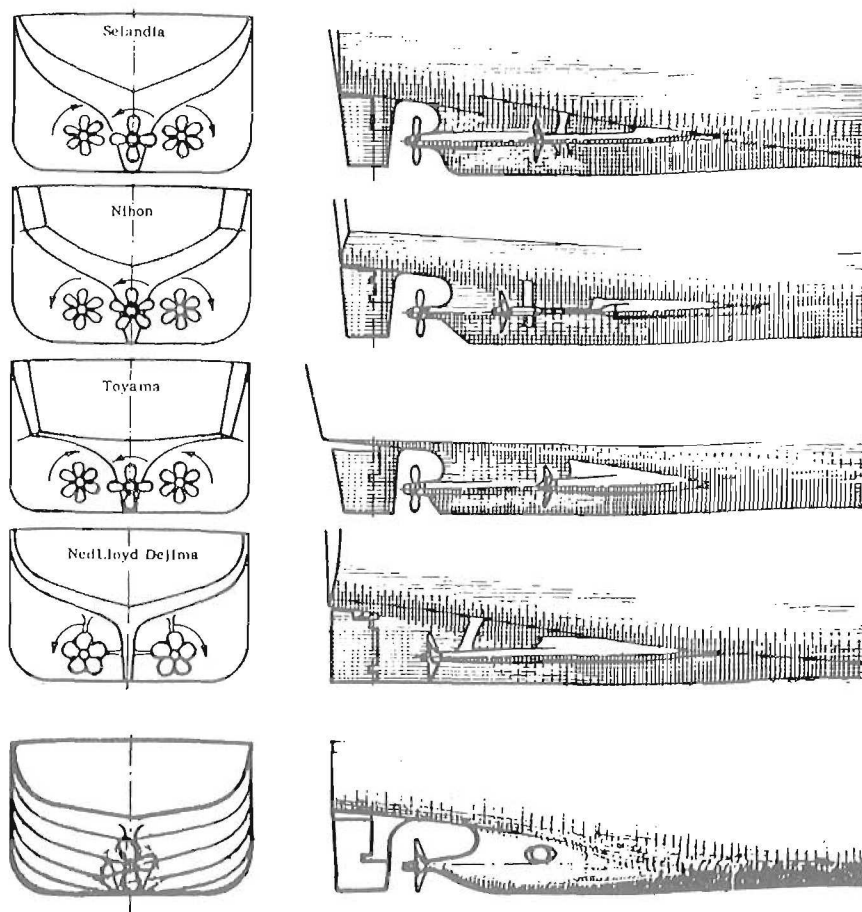
Poikittaisella aaltojärjestelmällä on sama nopeus kuin aluksella. Myös eroavan aaltorintaman aluksen kanssa yhdensuuntaisella aaltokomponentilla on sama nopeus. Suurin ero Kelvinin teorian ja todellisen aluksen aaltosysteemin välillä on se tosiasia, että todellisen aluksen voidaan ajatella koostuvan useista pistemäisistä aaltolähteistä.



Kuva 15. Kelvin'in aaltosysteemi (vasen piirros) ja shemaattinen esitys todellisen aluksen aaltosysteemistä (Lewis, E. W., 1988).

Etenevä alus muodostaa aaltoja keula- ja peräosan lisäksi rungollaan. Keulassa sijaitsevan bulbin käyttö perustuu myös sen aiheuttamaan aallonmuodostukseen siten, että keula-aaltoja hyväksikäyttäen pyritään kumoamaan runkoaaltoja ja siten pienentämään myös aluksen kokonaisvastusta. Yleensä keula-aallot ovat aluksen aallonmuodostuksen kannalta määrääviä, mutta aluksen nopeuden kasvaessa voi aluksen leveän ja alavirtaustasaperän kohdalta lähteä keula-aaltoja suurempia aaltoja.

Etenevän aluksen aaltojärjestelmään voidaan myös vaikuttaa erilaisten perälisäkkeiden avulla (kuva 16). Useimmiten aallon muodostusta voidaan vähentää bulbin ja perälisäkkeiden avulla, mutta toisinaan nämä rakenteet voivat jopa kasvattaa aallon muodostusta, erityisesti mikäli ne poikkeavat paljon suunnitteluolosuhteista.



Kuva 16. Esimerkki rungon perälisäkkeistä (Vossnack, 1981).

Aluksen aiheuttama aallonmuodostus on suurimmillaan aluksen liikkeessa nopeudella, jossa muodostuvan aallon pituus on lähellä aluksen pituutta. Tämä runkonopeus esimerkiksi 150 m pitkälle alukselle on noin 30 solmua.

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen laivatekniikan laboratoriossa on toteutettu eräitä tutkimusprojekteja, jossa aluksen aallonmuodostusta on tutkittu pienoismallien avulla. Suoranaisesti ei ao. tutkimuksissa ole selvitetty aluksesta aiheutuvien aaltojen dimensioita, vaan pyrkimyksenä on ollut runkomuodon optimaalinen muoto, joka epäsuorasti merkitsee myös pienempiä aaltoja pienemmän kokonaisvastuksen ansiosta.

Taulukossa 3 on esitetty joitakin koetuloksia viidelle eri autolautalle. Aluksen aiheuttama aallonkorkeus on mitattu aina 150 m etäisyydelle aluksen keskilinjasta lukien. Muuntotyypisille aluksille vastaavia tuloksia löytyy vain erittäin rajoitetusti kirjallisuudesta.

Rungon vaikutusta aallon muodostukseen voidaan arvioida vastuskokeiden perusteella, jäänösvastuksen ja kokonaisvastuksen suhteena.

Taulukko 3. Autolautojen aiheuttamia aallonkorkeuksia.

Aluksen nopeus [solmua]	16					20					22				
Etäisyys keskilinjasta [m]	25	50	75	100	150	25	50	75	100	150	25	50	75	100	150
Alus 1	0.82	0.70	0.60	0.52	0.47	1.25	1.05	0.87	0.70	0.50	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Alus 2	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	1.00	0.97	0.90	0.65	1.35	1.20	1.15	1.07	0.95
Alus 3	0.70	0.52	0.50	-	-	1.35	1.30	1.25	-	-	1.60	1.50	1.50	-	-
Alus 4	0.56	0.55	0.55	0.55	-	1.50	1.48	1.35	1.20	-	2.20	2.20	2.20	2.10	-
Alus 5	0.70	0.50	0.30	-	-	1.40	1.00	1.00	-	-	2.10	1.40	1.30	-	-

Syvässä vedessä aluksen muodostamat aallot vaimenevat etäisyyden neliöjuuren käänteislukuun. Viskoosivaimennus oletetaan tällöin merkityksettömäksi. Tuuliaallot saattavat myös vaimentaa aluksen muodostamia aaltoja.

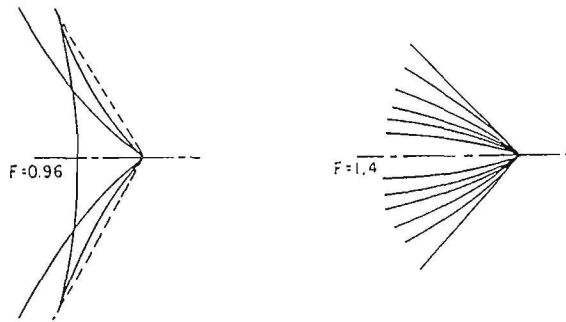
4.3 Aallonmuodostus matalassa vedessä

Matalassa vedessä aluksen muodostama aalto eroaa merkittävästi syvän veden tilanteesta. Matalan veden tilannetta karakterisoi nk. Frouden luku, $Fn = V_s / \sqrt{gh}$, missä V_s on aluksen nopeus, g on maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys ja h on vesisyvyys. Aluksen nopeuden kasvaessa ja vesisyvyyden pienetessä alkaa merenpohjan kitka vaikuttaa aallon muodostukseen. Tämä havaitaan Frouden luvun lähestyessä arvoa 0.7. Frouden luvun edelleen kasvaessa pohjan kitka vaikuttaa yhä enemmän

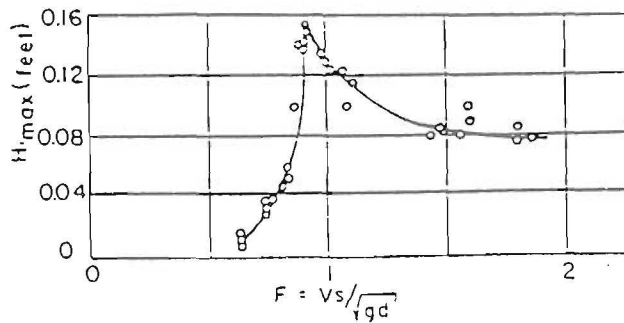
aallonmuodostukseen, kunnes saavutetaan tilanne, jossa $Fn = 1$. Tällöin poikittainen ja eroava aaltokomponentti yhdistyvät yhdeksi poikittaiseksi aaltorintamaksi.

Kun $Fn > 1$, poikittainen aaltokomponentti katoaa, koska poikittaisen aaltokomponentin vaihenopeus ei voi olla kriittistä etenemisnopeutta ($Fn = 1$) suurempi. Kuvassa 17 on esitetty aaltokuviot tapauksissa, joissa $Fn = 0.96$ ja 1.4 .

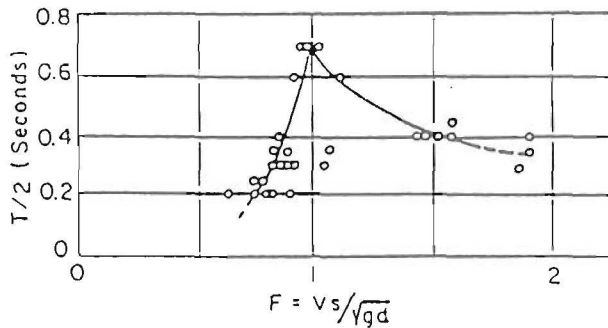
Aallon korkeus ja aallon periodi kasvavat nopeasti Frouden luvun ylittäessä arvon 0.7. Seuraavassa on kuvissa 18 ja 19 esitetty aallon puoliperiodin ja maksimi aallonkorkeuden riippuvuus Frouden luvusta (Soerensen, R. M., 1967).



Kuva 17. Aaltokuvio kun $Fn = 0.96$ ja $Fn = 1.4$ (Soerensen, R. M., 1967).



Kuva 18. Maksimiaallonkorkeus Frouden luvun funktiona tavanomaiselle laivamallille



Kuva 19. Puoliperiodi Frouden luvun funktiona tyypilliselle laivamallille.

Aluksen nopeuspainuma eli nk. squat-ilmiö voi myös vaikuttaa oleellisesti aluksen aiheuttamaan aallonmuodostukseen matalassa vedessä. Matalammassa vedessä aluksen varaveden ollessa pieni voi nopeuspainuma olla huomattava, jolloin aluksen painumasta aiheutuu vastuksen ja aallonmuodostuksen kasvaminen.

Rannan topografia, laivaväylän linjaus suhteessa rantaviivaan ja alueen yleiset virtaus- ja tuuliaalto-olosuhteet määrittävät aluksesta aiheutuvien vaikutusten suuruuden rantavyöhykkeessä. Aallon edetessä syvästä vedestä matalaan aalto deformatuu, jolloin seurauksena aallon korkeus kasvaa ja aallonpituus lyhenee. Edelleen aallon taipumisilmiöstä johtuen aaltorintama kääntyy enemmän rannan suuntaiseksi. Tulevan aallon ominaisuuksia tarkasteltaessa lähellä rantaa vaikeuttavat heijastukset ja aallon murtuminen objektiivisen havainnon tekoa. Aallokkoa voidaankin pitää lähellä rantaa hyvin epälineaarisenä ilmiönä, josta tietyn häiriöaallon poimiminen saati sitten sen aiheuttamien vaikutusten arviointi on erittäin komplisoitu tehtävä.

4.4 Aallonmuodostuksen arviointimenetelmiä

4.4.1 Aallon korkeuden ja pituuden arviointi

Lähteen (Verhey, 1989) perusteella aluksen aiheuttamat aallot riippuvat ensikädessä aluksen nopeudesta, mutta aluksen muodolla ja aluksen etäisyydellä rantaviivasta on myös keskeinen merkitys arvioitaessa alusaaltojen vaikutuksia rannalla.

Suurella nopeudella kulkevat pienemmät alukset, hinaajat, partioalukset yms., voivat aiheuttaa 0.5...0.75 m korkuisia aaltoja. Vastaavasti konttialukset ja autolautat saattavat aiheuttaa jopa yli metrin korkuisia aaltoja hyvinkin syvässä vedessä. Nopean matkustaja-autolautan on myös todettu voivan nostaa lähellä rantaa jopa 1.5 m korkuisia aaltoja (VTT, 1977).

Edellä esitettyjen Kelvin-aaltoteoriaan perustuen Havelock, 1908, arvioi aluksen aiheuttamaa aallonmuodostusta syvässä vedessä, ja aallonkorkeuden ja vesisyvyyden välille voidaan kirjoittaa yhteys:

$$\frac{H_i}{h} = \alpha_1 \left(\frac{s}{h} \right)^{-0.33} Fn^{\alpha_3}, \quad (1)$$

missä s on etäisyys laivaväylältä, Fn on Frouden luku ja voidaan lausua alusnopeuden, v_s ja vesisyvyyden, h , avulla:

$$Fn = \frac{v_s}{\sqrt{gh}}. \quad (2)$$

Kaavassa eksponentti 0.33 vastaa Kelvinin teoriassa aaltojen eroamiskulmaa aluksen etenemislinjasta, joka on 19.5°. Kertoimet α_1 ja α_3 voidaan määrittää mallikokein tai kirjallisuuden avulla. Kertoimelle α_3 suositetaan arvoa 4.0, joskin esimerkiksi Delft Hydraulics Laboratory soveltaa arvoa 2.67 hinaajille ja pienemmille aluksille. Kertoimelle α_1 suositetaan arvoa 1.0 hinaajille, nopeille partioaluksille ja lastissa

oleville sisävesimoottorialuksille. Tyhjille moottorialuksille sovelletaan arvoa 0.35. Mitoituksessa ja alusaaltojen arvioinnissa tulee käyttää arvoa 1.2. Kaava soveltuu, mikäli $Fn < 0.7$.

Vastaavasti Kelvin'in teoria lähtökohtana voidaan aluksesta aiheutuvan aallon pituudelle kirjoittaa syvässä vedessä:

$$L_s = 2\pi \cos^2(35.3^\circ) v_s^2 / g = 0.67 \cdot 2\pi \cdot v_s^2 / g \quad (3)$$

Kaavassa esiintyvä kulman arvo, 35.3° , edustaa aaltorintaman etenemissuuntaa aluksen keskilinjaan nähden. Tällöin aaltorintama kohtaa esimerkiksi aluksen etenemislinjan kanssa yhdensuuntaisen linjan (esim. rantaviivan) 54.7 asteen kulmassa.

Aallon periodi, T_s , voidaan syvässä vedessä arvioida lineaarisen aaltoteorian mukaan aallonpituuden, L_s , ja periodin välisestä yhteydestä:

$$L_s = gT_s^2 / 2\pi \quad (4)$$

Syvän veden olettaus pätee, kun $h/L_s > 0.5$. Aallon edetessä rantaan alkaa merenpohja vaikuttaa aallonmuotoon, ja lisääntyvän pohjakitkan vaikutuksesta aalto lyhenee ja aallonkorkeus kasvaa. Keskisyvässä vedessä, $0.04 < h/L_s < 0.5$, ja aallonpituus lasketaan kaavasta (Wiegel, 1964):

$$L_s = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_s}\right), \quad (5)$$

Todellisuudessa rannan topografian epäsäännöllisyys, tuuliaallot, virtaukset, aaltorintaman taipuminen, heijastukset ja murtuminen rannalla vaikeuttavat täsmällisen arvion tekemistä.

Aluksen keula ja peräaallot (sekundääri-aaltosysteemi) ovat hydrodynaamisten prosessien kannalta merkitsevin aluksen lähellä (aaltovastus, matalan veden vaikutus), mutta kapeikossa ja kanavassa aluksesta aiheutuva takaisinvirtaus, ja keulan/perän aiheuttama vedenpinnan nousu on avainasemassa.

Kanavassa ja pitkässä ja kapeassa väylässä aluksen aiheuttama aallon korkeus saadaan ($V_s/V_{crit.} < 1$):

$$H_s = CV_s^{3.5}, \quad (6)$$

missä C on vakio riippuen uoman ominaisuuksista.

Aluksen nopeuden ollessa kriittistä nopeutta suurempi, alueella $1 < V_s/V_{crit.} < 1.2$:

$$H_s = H_{crit.} (V_s / V_{crit.})^{2.5}, \quad (7)$$

missä $H_{crit.}$ on aallon korkeus, kun $V_s = V_{crit.}$

Lähteessä (Hochstein, A. B., 1989) on esitetty kaava aluksen aiheuttaman aallon arvioimiseksi kanavassa, kun väylän poikkileikkauksen pinta-alan, A_c ja aluksen uppouman poikkileikkauksen pinta-alan, A_s suhde on suurempi kuin 7. Tällöin ainoastaan eroavat aallot ovat aallon muodostuksen kannalta merkittäviä, ja lähteen mukaan pitkittäisaaltoja ei tarvitse huomioida. Tällöin eroavien aaltojen korkeus on:

$$H_{div.} = 0.0448 V_s^2 \left(\frac{d_s}{L} \right)^{0.5} \cdot a \quad (8)$$

missä d_s on aluksen syväys,

V_s on aluksen nopeus,

L on aluksen pituus ja

$$a = (n/n-1)^{2.5}; n = A_c / A_s.$$

Ylläolevaa yhtälöä on sovellettu laajemminkin, mutta sen antama tarkkuus on todettu heikohkoksi (Bhowmik, N. G., et al, 1982). Seuraavalle empiiriselle yhtälölle on korrelaatiokertoimeksi saatu 0.87:

$$H_{max} / d_s = 0.133 Fn \quad (9)$$

Aluksen nopuden vaikutus on edellä esitetyn perusteella suuri; esitetäänhän aallon korkeus funktiona nopeuden neliöstä. Tällöin esimerkiksi nopeuden kasvattaminen kaksinkertaiseksi aiheuttaa teoriassa aaltoilun kasvamisen nelinkertaiseksi. Aallon korkeutta arvioitaessa tulee voimakkaasti virtaavissa vesistöissä (esimerkiksi jokisuut) ottaa huomioon aallon muodon muuttuminen veden virtauksesta johtuen. Virtaussuuntaa vastaan etenevät aallot ovat alkuperäisiä huomattavasti jyrkempiä, ja saattavat olla rannan stabiileetille vaarallisempia.

4.4.2 Havaintoja aluksen aiheuttamista aalloista

Useissa Tukholman saaristossa suoritetuissa tutkimuksissa on alusliikenteestä aiheutuneet aallot olleet maksimissaan luokkaa 0.3 - 0.5 m rannalla. Suurempia aallonkorkeuksia on myös todettu (0.5 - 0.8 m). Esimerkiksi Furusundin kohdalla suoritetuissa mittauksissa ohi kulkevat autolautat aiheuttivat 8-15 solmun nopeuksilla 0.15 - 0.45 m korkeat aallot (Daleke, O., et al., 1989). Saman lähteen mukaan todettiin Marön kohdalla 0.85 m aallon korkeuksia keskimäärin 17 solmun alusnopeudella.

Aluksesta aiheutuvat aallot indusoivat myös lähellä rantaa suhteellisen voimakkaita pohjavirtausnopeuksia, erityisesti kohdassa, jossa aallot murtuvat. Esimerkkinä voidaan tarkastella 0.3 m korkeasta laiva-aallosta aiheutuvaa vaakasuoraa virtausnopeutta pohjalla, 1.0 m vesisyvytydessä:

Olettamalla aluksen nopeudeksi 15 solmua, aluksen etäisyydeksi rannasta 250 m, ja kaavan (1) kertoimiksi, $\alpha_1 = 1.2$, $\alpha_3 = 4$ ja $Fn = 0.34$ saadaan aallon pituudeksi

1.0 m syvyydessä 12.3 m. Murtumattoman aallon aiheuttamaa pohjavirtausnopeutta voidaan arvioida kaavalla (Herbich, J. B., 1984):

$$U_b = \frac{\pi H_s}{T} \cdot \frac{1}{\tanh(kd)}, \quad (10)$$

missä k on aaltoluku, $2\pi / L_s$.

Sijoittamalla aallon pituus y_0 yhtälöön saadaan pohjavirtausnopeudeksi n. 0.5 m/s.

Aallon murtuessa saadaan maksimaalinen horisontaalinen pohjavirtausnopeus esimerkiksi yksittäisaaltoteorian avulla, ja virtausnopeudelle voidaan kirjoittaa eräin yksinkertaistuksin:

$$U_b \approx 0.33C, \quad (11)$$

missä C on aallon nopeus, joka matalassa vedessä on:

$$C = \sqrt{2gH}. \quad (12)$$

0.3 m korkuinen aalto murtuu n. 0.4 m vesisyvyydessä, jossa murtuvan aallon aiheuttama pohjavirtausnopeus siis on n. 0.8 m/s. Todetaan ko. virtausnopeuksien aiheuttavan eroosiota hienolle hiekalle ja tasarakeiselle, 3 - 5 mm, raekoon omaavalle laittuneelle merihiekalle. Arvio perustuu tasaisen virtauksen nk. Hjulströmin kriteeriin, joka antaa voimakkaasti turbulenttisessa virtauksessa liian pieniä raekoon arvoja, mutta jota yleisesti on käytetty arvioitaessa maalajitteiden eroosioherkkyyttä virtausta vastaan.

5 ALUSTEN AIHEUTTAMAT VIRTAUKSET

Jorma Rytönen

Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Laivatekniikan laboratorio

5.1 Yleistä

Aluksen lähellä virtauskenttä muodostuu erilaisista virtausilmiöistä, jotka laajuudeltaan ja syntypaikaltaan ovat hyvinkin erilaisia. Aluksen vierellä voidaan todeta mm. seuraavia virtauksia (Winberg, B. 1993):

- potentiaalivirtaus
- aallonmuodostukseen liittyvä virtaus,
- viskoosivirtaus,
- eroamisvirtaus,

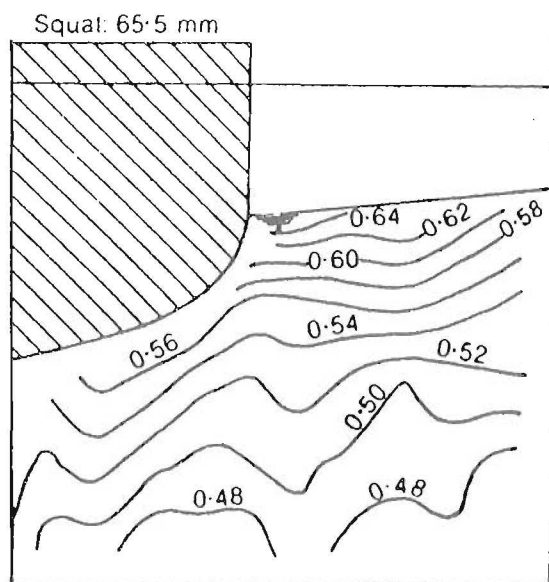
- kavitaatio,
- pyörteenmuodostus,
- paineaallot,
- potkurivirtaukset,
- vanavesi ja
- kantosiipivirtaus.

Edellä luetelluista ympäristövaikutusten kannalta on merkitystä lähinnä potentiaalivirtauksella, joka ilmenee aallonmuodostuksella (Kelvin-aallot), paineaalloilla (Bernoulli-aallot, surge) ja potkurivirtauksilla ja rantaan nähden takaisinvirtauksella (imuvaikutus).

Kelvin-aaltojen lisäksi alus aiheuttaa rungon syrjäyttämän vesimäärän johdosta paineaaltoja, joista joissakin yhteydessä käytetään nimitystä Bernoulli-aallot. Vesimäärän ollessa huomattava aiheutuu aluksen viereen virtauskenttä (uppoumavirtaus, takaisinvirtaus), jossa virtausnopeudet voivat olla suuria. Aluksen edetessä lateraali- ja vertikaalisuunnassa rajoitetulla vesialueella joutuu alus 'painamaan' vettä alleen ja sivuilleen, pois aluksen tieltä. Tällöin aluksen eteen ja perään muodostuu ylipaine, jota karakterisoi vedenpinnan nousu. Samanaikaisesti suuremmasta virtausnopeudesta johtuen aluksen sivuille ja myös rantaviivaan syntyy paineen minimi, eli vedenpinnan alenema. Pinnan alenema on hetkellinen ja seuraa aluksen liikettä.

Veden pinnan lasku aiheuttaa myös aluksen painuman, joka tunnetaan nopeuspainuman, l. squat, nimellä. Lähteissä (Bhowmik, N. G., 1982 ja RIL-123, 1979) on esitetty laskukaavoja squat'in laskemiseksi. Kuvassa 6 on esitetty vedenpinnan alenema ja virtausnopeuskenttää aluksen alla mallikokeessa (Daleke, O., 1989)

Vastaavasti aluksen taakse jää tyhjiö, joka pyrkii täyttymään veden virratessa sinne joka suunnasta. Potkurit imevät vettä aluksen alta, joka syvyydeltään rajoitetussa vesiuomassa vaikuttaa oleellisesti aluksesta aiheutuviin virtauksiin.



Kuva 20. Veden pinnan alenema aluksen vieressä epätasaisesta nopeuskentästä johtuen.

5.2 Arviointimenetelmiä

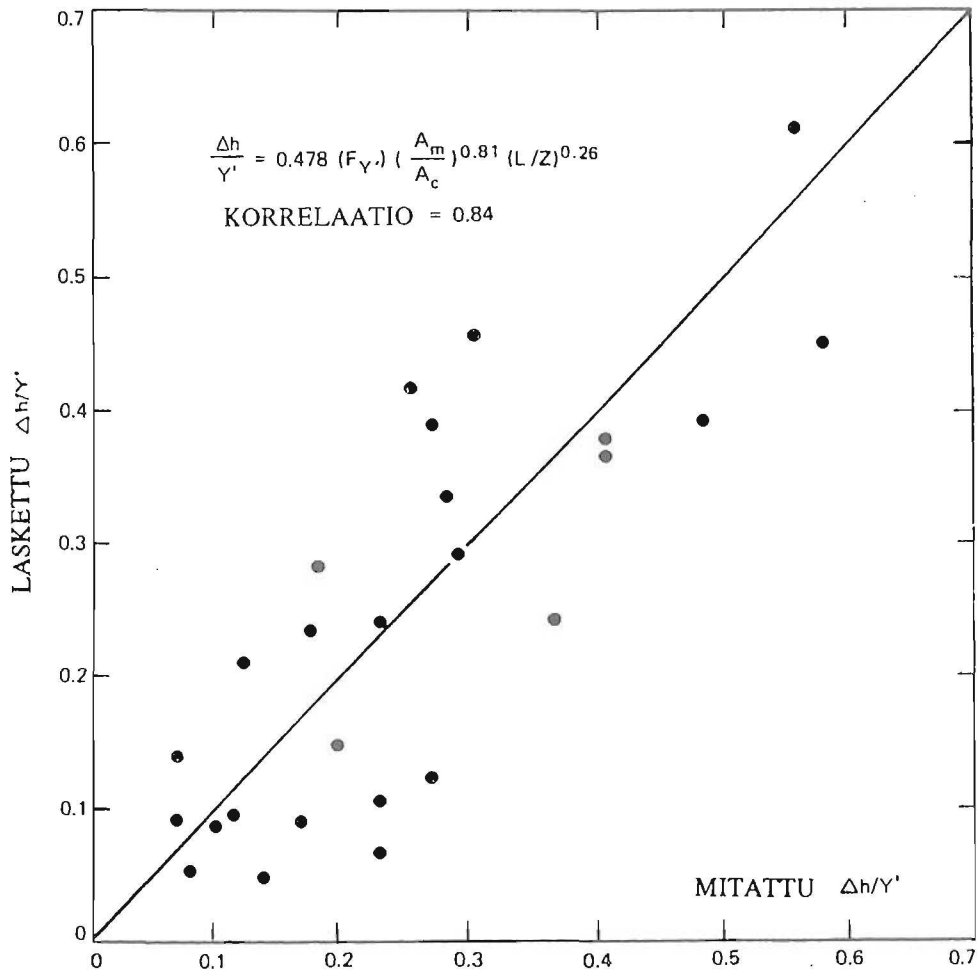
Veden pinnan alenemalle etäisyydellä z aluksen keskilinjalta voidaan osoittaa (Bhowmik, N.G., 1982):

$$\Delta h = 2 \cdot 10^{-6} \left[\left(\frac{v^2 A_s L_s^2}{z \sqrt{A_c}} \right)^{1/3} \right]^{2.8}, \quad (13)$$

missä L_s on aluksen pituus,
 A_s on aluksen uppouman pinta-ala ja
 A_c on uoman vesipoikkileikkausala.

Mikäli alus on lähempänä toista uoman reunaa on veden pinnan alenema suurempi sillä reunalla verrattuna tilanteeseen, jossa alus kulkisi keskellä väylää. Ilmiötä voidaan käyttää hyväksi väyläsuunnittelussa eroosioherkillä alueilla sijoittamalla väylä kauemmaksi eroosioherkemästä rannasta mikäli mahdollista.

Veden pinnan alenemaa tutkittiin lähteessä (Bhowmik, N. G., 1982) usean muuttujan regressioanalyysillä, ja paras korrelaatio (0.84) saatiin kuvassa 21 esitetyllä kaavalla, jossa on esitetty yhtälön kuvaaja sovitettuna mittauspisteistöön.



Kuva 21. Veden pinnan alenema. $Y' = Y - ds$, ja $Y = A_c/B_c$. Kun $z = 0$, saadaan veden pinnan alenema aluksen kohdalla (squat).

Aluksen indusoimiin virtauksiin vaikuttavista suureista on vesisyvyydellä suuri merkitys. Yleisesti pidetään $h/d_s = 2.0$ raja-arvona, mitä pienemmillä varaveden arvoilla pohja vaikuttaa aluksesta aiheutuviin virtauksiin. Suurilla nopeuksilla pohja ei vaikuta, kun vesisyvyys on yli puolet aluksen pituudesta.

Aluksen päämitoilla ja muodolla on myös suuri vaikutus aluksen aiheuttamaan virtauskenttään ja siitä aiheutuviin vedenpinnan heilahteluihin. Esimerkiksi suuri pääkäären uppouman pinta-ala (midship area) merkitsee pientä virtauspoikkileikkausta ahtaalla väylällä, josta johtuen takaisinvirtausnopeus (ja vedenpinnan alenema) on suuri. Ympäristövaikutusten kannalta olisi edullisempaa, että samassa tilanteessa samalla nopeudella kulkeva alus olisi hoikempi.

Aluksen aiheuttaman virtauksen (displacement flow, pressure flow) voidaan soveltaa Bernoullin yhtälöä veden pinnan aleneman ja nopeuskorkeuden välillä. Lähteissä (Daleke, 1989 ja Hochstein, A. B., 1989) on esitetty Bernoullin yhtälöön perustuvat yhteydet veden pinnan aseman muutoksen ja virtausnopeuksien välille. Kuitenkin tehtyjen yksinkertaistusten ja oletusten vuoksi eivät ao. laskukaavat anna luotettavia arvioita topografialtaan epäsäännöllisissä väylissä.

Lähteessä (Hochstein, A. B., 1989) on esitetty mallikokeisiin ja luonnossa suoritettuihin mittauksiin perustuva yhtälö aluksen aiheuttaman takaisinvirtauksen, ΔV_w , arvioimiseksi:

$$\Delta V_w = V_s [(aB - B + 1)^{0.5} - 1], \quad (14)$$

missä α on korjaustermi, $\alpha = \max \left\{ 1, \frac{0.114 \frac{B_c}{B_s} + 0.715}{1} \right\}$,

A_c on uoman poikkileikkaus,

B_c on uoman leveys,

$a = (n / n - 1^{2.5})$,

$B = 1, 0.65 < V_s / V_{cr} < 1.0$,

$B = 0.3 e^{1.8 V_s / V_{cr}}, V_s / V_{cr} < 0.65$.

Termi, V_{cr} , on aluksen kriittinen etenemisnopeus, jolloin vastakkaiseen suuntaan etenevä takaisinvirtaus kasvaa äkillisesti. Kriittiselle virtausnopeudelle voidaan kirjoittaa:

$$V_{cr} = K \left(\frac{g A_c}{B_c} \right)^{0.5} \quad (15)$$

missä K on vakio, $K = f(n, L/b_s)$, $n = A_c / A_s$.

Uppoumavirtauksen suuruus sivusuunnassa etäisyydellä z aluksen keskilinjasta saadaan:

$$V_w(z) = k_1 e^{-z/k_2}, \quad (16)$$

missä kerroin $k_1 = V(0) = \alpha \Delta V_w$,
kerroin $k_2 = B_1 / \alpha [1 - e^{-\alpha F(\alpha)}]$,
 B_1 on etäisyys aluksen keskilinjasta rantaviivaan,
 $F(\alpha) = 0.42 + 0.52 \ln \alpha$.

5.3 Alusten aiheuttamat virtaukset rannan lähellä

Aluksen lähestyessä rantaa havaitaan rannalla pieni veden pinnan nousu jo ennenkuin alus on tarkastelupaikan kohdalla. Aluksen ollessa lähellä tarkastelukohtaa havaitaan rannalla suurempi, ja nopeampi veden pinnan nousu, joka on voimakkaimmillaan aluksen keulan tullessa tarkastelukohdasta aluksen etenemislinjalle piirretylle kohtisuoralle viivalle.

Pinnan nousun jälkeen seuraa nopea pinnan alenema ja muutos virtaussuunnassa. Kun alus on puoleksi ohittanut tarkastelukohdan on pinnan alenema saavuttanut noin puolet maksimiarvostaan. Suurin alenema havaitaan aluksen perän ohittaessa tarkastelukohdan. Maksimi aleneman jälkeen veden pinta heilahtaa jälleen positiiviseksi, ja rannalla havaitaan nopea veden pinnan nousu, suuruudeltaan noin puolet havaitusta suurimmasta vedenpinnan alenemasta. Aluksen ohittamisen jälkeen vedenpinta heilahtelee ja virtaus rannalla pyörii pitkän aikaa vaimentuen erittäin hitaasti.

Turun saaristossa Ruissalon ja Hirvensalon välissä suoritetuissa mittauksissa (Friman, H., 1989) todettiin aluksen lähestyessä veden pinnan nousuksi noin 1 cm, ja äkilliseksi laskuksi 15 - 20 cm. Aluksen ohitettua mittauspisteen todettiin kokonaisvaihteluksi noin 20 - 30 cm.

Aluksesta aiheutuvan takaisinvirtauksen suunta ja suuruus vaihtelevat jatkuvasti ajan ja paikan funktiona aluksen ja rantaviivan välissä. Nopeuden muutokset alkutilanteeseen verrattuna on todettu verrattain pitkäkestoisiksi. Lähteessä (Mazunder, B. S. et al., 1993) on mittauksin todettu takaisinvirtauksen pitkittäiskomponentin muuttavan vallitsevaa virtausnopeutta 4...8 min ajaksi lähellä alusta. Lähellä rantaa ohi kulkevan aluksen vaikutus tuntui jopa 15 min ajan.

Aluksen takaisinvirtauksen aiheuttama paikallinen virtausnopeuden muutos voi olla 3-8ertainen alkuperäiseen virtaustilanteeseen verrattuna. Rannan tuntumassa virtausta luonnehtivat suuret pyörteet ja turbulenttisuus.

Todellisessa uomassa aluksen aiheuttama takaisinvirtaus ei välttämättä ole samansuuntainen aluksen tai rantaviivan kanssa, vaan todellinen virtauskenttä on epäsäännöllistä topografiasta tms. johtuen mutkikkaampi.

Luonnossa tapahtunein mittauksin on todettu esim. Turun ja Tukholman välillä kulkevien autolauttojen aiheuttavan keskimäärin 15 cm veden pinnan aleneman 12.6 solmun keskinopeudella. Suurimmat havaitut arvot olivat lähteen (Daleke, O., et al., 1989) mukaan noin 38 cm. Lähteen (Rönneberg, O., 1986) perusteella on Ahvenanmaan saaristossa mitattu jopa 0.5 - 1.0 m veden pinnan alenemia rannalla 220 m päässä laivaväylältä.

Rinnan veden pinnan heilahtelujen kanssa suoritetuissa virtausnopeusmittauksissa todettiin rantaviivalla aina 1 m/s asti olevia virtausnopeuksia (Daleke, O., 1989).

Kauempana rannasta, alueella, jossa aluksesta aiheutuva takaisinvirtaus on voimakkaimmillaan mitattiin jopa 2 m/s virtausnopeuksia (Stabo Udde). Aluksen ohitettua tarkastelupisteen aiheutui vedenpinnan äkillisestä noususta virtausnopeuksia, jotka olivat n. 70 - 80 % äkillisen aleneman aiheuttamista virtausnopeuksista (Winberg B. & Winkler, J., 1993).

Aluksen takaisinvirtauksesta aiheutuvien "imuvaikutusten" on lähteen (Daleke et al, 1989) perusteella todettu olevan dominoivia Kelvin-aaltoihin verrattuna rajoitetulla väylällä, kun uoman vesipoikkileikkauksen suhde aluksen uppouman pinta-alaan on luokkaa 20:1. Lähteen (Wermelin, H., 1989) perusteella ao. rajaksi on luonnossa suoritetuissa mittauksissa todettu 70:1.

Virtauksen suunnan on todettu vaihtelevan aluksen ja rannan välillä (Hammerfeldt, I. & Norrborg, M., 1991). Suurimmat virtausnopeudet lähellä rantaa on todettu lähellä pintaa ja meren pohjaa. Syvemmällä suurin virtausnopeus on todettu lähellä pintaa sekä lähellä alusta, että kauempana aluksesta. Ko. tutkimuksissa ei selvitetty potkurivirtauksen vaikutusta väylällä.

Aluksen aiheuttamien virtausvaikutusten on todettu vaimenevan nopeasti etäisyyden funktiona. Virtausmittauksissa on todettu virtauksen vaimenevan nopeasti 500 - 700 m päässä laivaväylältä, mutta että tämän raja-arvon jälkeen vaimeneminen on hidasta. Lähteessä (Friman H., 1989) on Nauvossa ja Houtskärissä suoritetuissa mittauksissa todettu ohikulkevan aluksen aiheuttama veden pinnan alenemaksi n. 70 mm 500 - 700 m etäisyydellä aluksesta. Vielä 1 500 m päässä aleneman todettiin olevan n. 30 mm.

5.4 Potkurivirtaukset

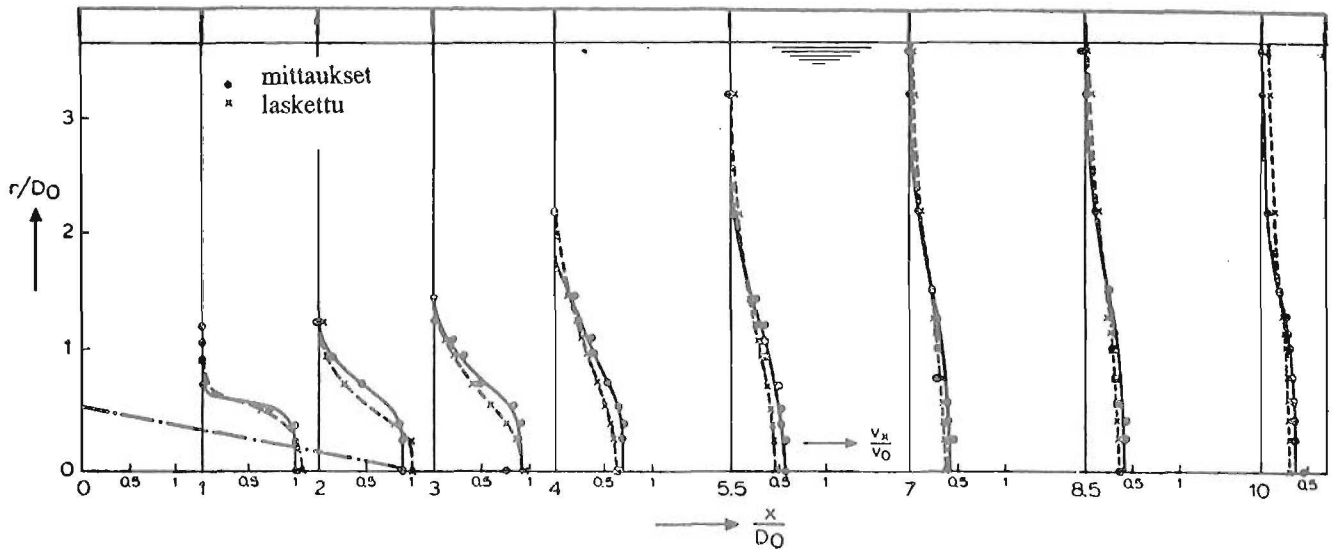
5.4.1 Yleistä

Hitaalla, nk crabbing-nopeudella liikkuvan aluksen potkurivirtauksen aiheuttamaa eroosiota satama-altaassa on tutkittu mm. lähteissä (Hamill, 1988) ja (Blaauw, 1978). Sen sijaan normaalissa kulussa olevan aluksen aiheuttamista potkurivirtausnopeuksista väylän pohjalla on julkaistu vähän tietoja. Matalilla sisävesikanavilla kulkevien proomujen ja hinaajien potkurivirtauksia on myös tutkittu runsaasti esimerkiksi mallikokein.

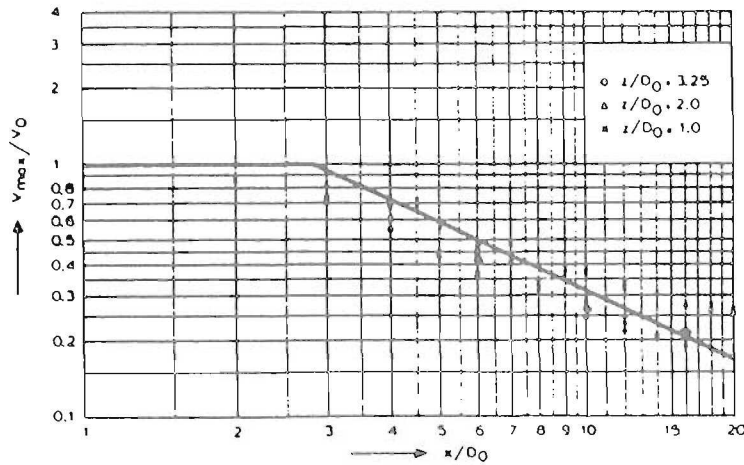
5.4.2 Potkurivirtauksen arviointimenetelmiä

Kuvassa 22 on esitetty mitattuja ja laskettuja potkurin aiheuttamia virtausnopeuksia, jossa vaaka-akselilla on esitetty tarkastelu-etäisyyden suhde potkurin halkaisijaan. Pystyakselilla on tarkastelupisteen etäisyyden, r , suhde potkurin halkaisijaan, D_0 .

Mikäli potkurivirtaus ulottuu pohjaan ei virtaussuihku luonnollisesti pääse laajenemaan alaspäin. Mallikokein on kuitenkin todettu, etteivät pohjan läheisyydessä mitatut virtausnopeudet juurikaan eroa syvässä vedessä ao. syvyydellä mitatuista. Kuvassa 23 on esitetty mallikoetulos potkurin ja pohjan välisen etäisyyden vaikutuksesta aksiaaliseen virtausnopeuteen. Etäisyys, x , on mitattu potkuriakselin keskilinjalta.



Kuva 22. Nopeusjakauma tavanomaisen potkurin takana



Kuva 23. Potkurin ja pohjan välisen etäisyyden vaikutus potkurin aiheuttamaan virtausnopeuteen (Blaauw, H., 1978).

Kuvasta voidaan todeta, ettei potkurin ja pohjan välisellä etäisyydellä, z , ole mainittavaa vaikutusta potkurivirtauksen vaimenemiseen. Kuvasta voidaan myös havaita, että virtausnopeus on vielä $3 - 4 D_0$ päässä lähes vaimentumaton alkunopeuteen verrattuna.

Potkurivirtausta karakterisoi luonnollisesti myös voimakas virtauksen turbulenttisuus, jossa aksiaaliset, radiaaliset ja tangentiaaliset nopeuskomponentit vaihtelevat voimakkaasti. Virtauksen nopeuskomponenttien voimakas vaihtelu on oleellinen tekijä potkurivirtauksen aiheuttamassa eroosiossa.

Lähteen (Fuehrer, et al, 1981) potkurin aiheuttamaa virtausnopeutta etäisyydellä $D/2$ potkurin lavan takana voidaan arvioida seuraavalla kaavalla:

$$V_{O,F} = 1.6nD\sqrt{K_T} \left(1 + \frac{V_A}{V_{O,F}}\right)^{-0.5}, \quad (17)$$

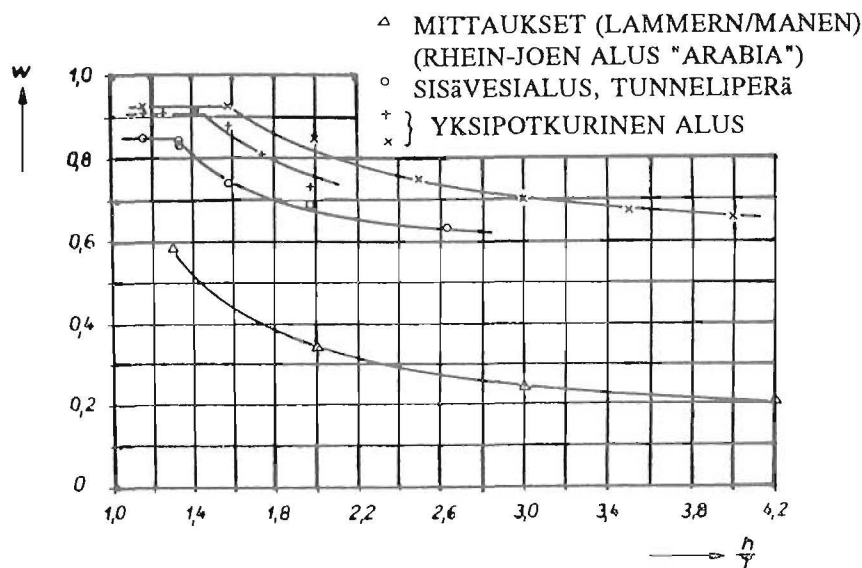
missä K_T on työntökerroin,
 V_A on etenemisluku.

Potkurin työntökerroin, K_T , saadaan esimerkiksi avovesikäyristä (mallikokeet) etenemiskertoimen, $\Lambda = V_A D / n$, funktiona. International Towing Tank Conference, ITTC, merkitsee tätä symbolia kirjaimella J.

Etenemisluku, V_A , määritetään:

$$V_A = V(1 - w), \quad (18)$$

missä w on vanavesikerroin, kuva 24.



Kuva 24. Vanavesikerroin, w (Taylorin vanavesikerroin) vesisyvyyden ja syväyden suhteen funktiona.

Erityistapauksessa aluksen ollessa paikoillaan, $V_A = 0$ ja $\Lambda = 0$:

$$V_0 = 1.6nD\sqrt{K_T}. \quad (19)$$

Mikäli potkurin työntökertoainta ei ole esimerkiksi avovesikokeista käytettävissä, voidaan potkurin työntöä, T_p , arvioida seuraavasti:

$$T_p = 205.72 D^2 C_1 \left[\frac{1.36 P_d}{\pi D^2 / 4} \right]^{2/3} \quad (20)$$

missä P_d on asennettu teho [kW]. Vakiolle C_1 pätee $1.75 < C_1 < 3.00$. Alustavassa tarkastelussa voidaan olettaa $C_1 = 2.40$, jolloin potkurivirtausnopeuden lähtöarvolle saadaan:

$$v_o = 1.35 \left(\frac{P_d}{D^2} \right)^{1/3}, \text{ yleisemmin } v_o = C_1 \left(\frac{P_d}{D^2} \right)^{1/3} \quad (21)$$

Lähteen (Fuehrer, M., 1987) mukaan $C_1 = 1.17$ suulakepotkurille ja $C_1 = 1.48$ normaalille potkurille.

Mikäli potkurin halkaisijaa ei tiedetä voidaan olettaa, $D \approx 0,75 T_p$, jolloin

$$v_o = 1.71 \left(\frac{P_d}{T_p^2} \right)^{1/3} \quad (22)$$

Potkurin indusoiman virtaussuihkun leveydeksi alkutilanteessa oletetaan normaalille potkurille, $D_o = 0.71D$, ja suulakepotkurille $D_o \approx D$.

Potkurivirtauksen aiheuttama maksimieroosio on yleensä todettu alueella $0.1 < z/x < 0.25$, jossa maksimi aksiaalinen (x) nopeuskomponentti pohjatasossa on:

$$\frac{v_x}{v_o} = 2.78 \frac{D_o}{x} \exp \left[-15.43 \frac{z^2}{x^2} \right]. \quad (23)$$

Kaavan avulla voidaan edelleen arvioida pohjaan kohdistuvaa leikkausjännitystä, τ :

$$\tau = c_f \cdot 0.5 \rho v_x^2, \quad (24)$$

missä ρ on tiheys ja
 c_f on kitkakerroin, $0.06 < c_f < 0.11$.

Jos työntökerrointa ei tunneta voidaan potkurista aiheutuvaa virtausnopeutta arvioida yksinkertaistetulla kaavalla (Fuehrer, et al. 1987):

$$V_o \approx 0.95 \cdot n \cdot D \quad (25)$$

Kaavan tarkkuus on noin 20 % tarkkaan arvioon verrattuna.

Lähteessä (Fuehrer, et. al, 1981) on esitetty potkurivirtausyhtälöt suhteellisen etäisyyden, x/D , funktiona potkurin takana:

Vyöhyke $1,0 < x/D < 2.6$

$$V_{x,\max} / V_o = 1 \quad (26)$$

Vyöhyke $x/D > 2.6$ (häiriintymätön virtaus):

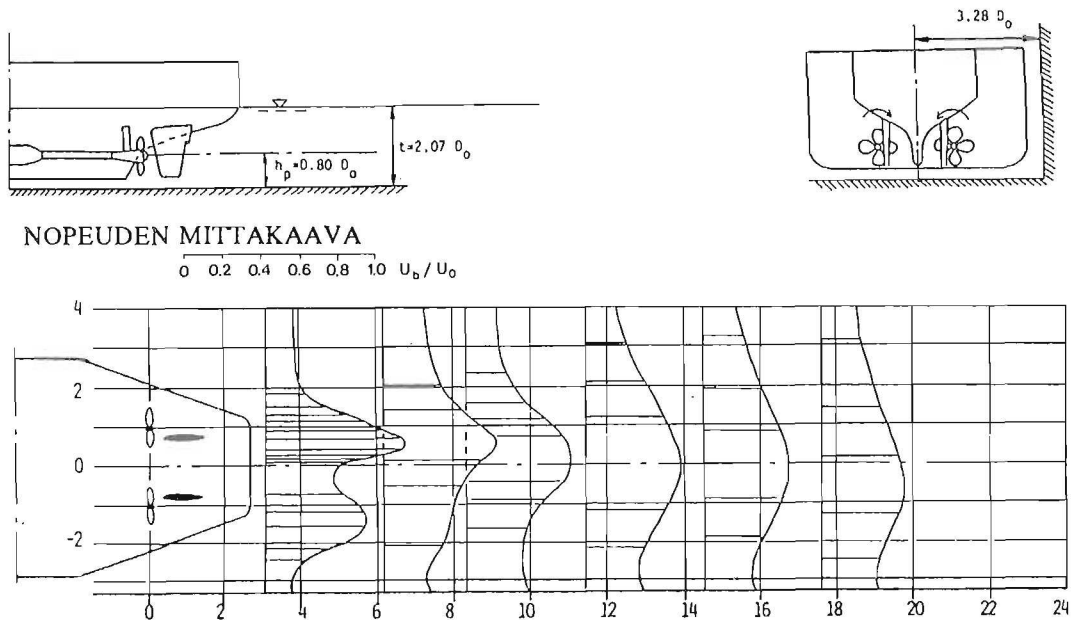
$$\frac{V_{x,\max}}{V_o} = 2.6 \left(\frac{x}{D} \right)^{-1.0} \quad (27)$$

Vyöhyke, jossa potkurivirtausta häiritsee pohja, viereinen satamamuuuri tms este:

$$\frac{V_{x,\max}}{V_o} = A \left(\frac{x}{D} \right)^{-a}, \quad (28)$$

missä $a = 0.6$ pohja tai veden pinta häiritsevät virtausta,
 $a = 0.3$ lisärajoituksena seinämuuri sivulla,
 $a = 0.57$ pintavirtaukselle, kun peräsin jakaa virtauksen kahtia,
 $a = 0.25$ kaksoispotkurit ja
 $A = f(h/D, h_p/D, L_s/D)$; Termi h_p on potkuriakselin etäisyys pohjasta.

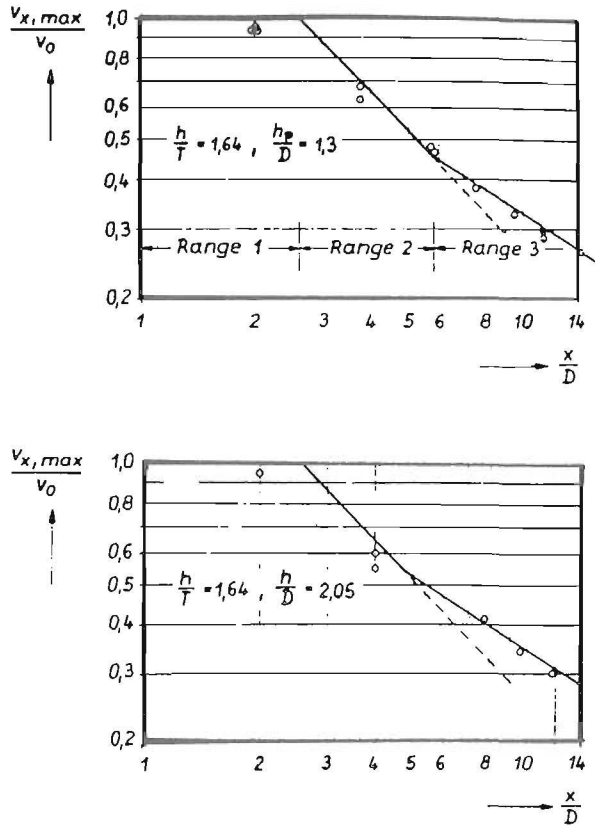
Kerroin A on tarkemmin esitetty lähteissä (Fuehrer, M. et al, 1981 ja Fuehrer, et al, 1987). Kuvassa 25 on esitetty aluksen aiheuttama potkurivirtaus aluksen ollessa lähellä satamamuuria. Kuvan nopeudet on tehty dimensiottomiksi jakamalla todellinen virtausnopeus pohjalla potkurin lähtönopeudella, V_o .



Kuva 25. Potkurin aiheuttama virtaus satamamuurin vieressä (Bergh, H. 1987).

Normaalissa navigoinnissa, so. aluksen ollessa kulussa normaalinopeudella ja potkurivirtauksen yhtyessä aluksen vanaveteen on mitattu todettu, että potkurivirtausnopeuden ollessa alle 4...6 kertaa aluksen nopeus tapahtuu jonkin verran potkurivirtauksen vaimenemista vanavedestä johtuen. Suuremmilla potkurivirtausnopeuksilla ei aluksen nopeudella ole vaikutusta potkurivirtaukseen, jolloin käytännön tarkkuudella voidaan crabbing-nopeudelle saatuja potkurivirtausyhtälöitä laajentaa koskemaan normaalia alusliikennettä.

Kuvassa 26 on esitetty potkurivirtausyhtälö vyöhykkeessä 3 alukselle, jolla on terävä risteilijäperä. Käyrässä esiintyvien vakioiden arvot ovat ko. perän järjestelyille A = 1.35 ja a = -0.6.



Kuva 26. Potkurin aiheuttama maksimivirtaus (Fuehrer, 1981).

Potkurivirtausnopeutta arvioitaessa yleensä tärkein tehtävä on arvioida virtausnopeutta pohjalla aluksen takana. Normaalille alusnopeudelle on esitetty kaava maksimipotkurivirtausnopeuden arvioimiseksi pohjalla:

$$\max. V_{B,A} = \max. v_{B,A} \left(1 - \frac{V}{nD} \right), \quad (29)$$

missä $\max. v_{B,A}$ on maksimi virtausnopeus pohjallapotkurin pyöriessä ja aluksen seisoessa paikoillaan,
 $\max. V_{B,A}$ on maksimi virtausnopeus pohjalla normaalissa eteenpäin ajossa.

Potkuriakselin etäisyydellä pohjasta, h_p , on seuraava vaikutus maksiminopeuteen, V_B :

$$\left(\frac{\max. V_B}{V_o} \right) = E \left(\frac{h_p}{D} \right)^{-1.0}, \quad (30)$$

mikä yhdistettynä edellisen kaavan kanssa antaa:

$$\max V_{B,A} = E \left(\frac{h_p}{D} \right)^{-1.0} \cdot V_o \left(1 - \frac{v}{nD} \right), \quad (31)$$

missä E on vakio, ja riippuu aluksen perän järjestelyistä seuraavasti:

E = 0.71, hoikka perä, peräsin keskellä,

E = 0.42, hoikka perä, ei keskiperäsintä;

E = 0.25, sisävesialus, tunneliperä, kaksi peräsintä.

5.5 Virtausten aiheuttama sekoittuminen

Aluksen mukanaan kuljettama virtauskenttä ja erityisesti potkurivirtaukset aiheuttavat myös vedessä sekoittumista, jonka ympäristövaikutukset voivat otollisissa olosuhteissa olla huomattavat. Sekoittumista aiheuttavat pääasiallisesti tuulet ja virtaukset, mutta alusliikenteen on myös viimeaikaisissa tutkimuksissa todettu edustavan ennakoitua suurempaa tekijää. Lähteessä (Jurgensen, C., 1989) on tarkasteltu eri tekijöiden vaikutuksia sekoittumisilmiöön. Tutkimuksessa on mm. laivaliikenteen todettu edustavan noin 20 % Beltin meren kokonaissekoittumisesta.

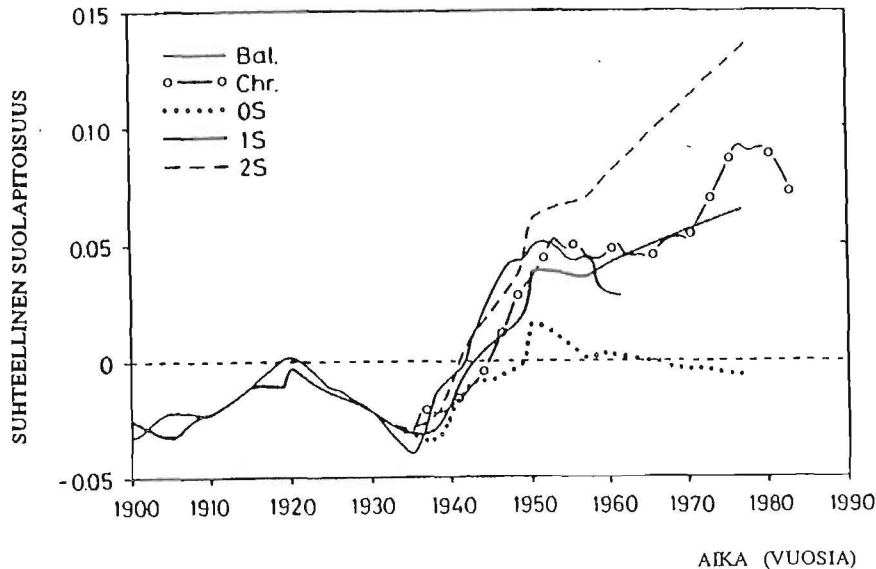
Kesäaikana kehitty meressä lämpötilaeroihin perustuva kerrostuneisuus, jossa lämpimämmän pintaveden paksuus yleensä on luokkaa 15 - 20 m. Kerrosta kutsutaan termokliiniksi. Tämän alla on jyrkkä lämpötilan muutos, nk. harppauskerros. Itämeren olosuhteissa on murtoveden alapuolella vielä suolaisen veden kerros, jonka rajapintaa kutsutaan halokliiniksi.

Aluksen potkurien sekoittaessa tehokkaasti vettä, ja vanaveden pyörteisyyden tehostaessa sekoittumista pintakerros häiriintyy, ja siihen sekoittuu vettä alemmista kerroksista. Pintaveden alapuoliset kerrokset ovat suolaisempia ja ravinnerikkaampia, jolloin seurauksena on ravinteiden nousu lämpimään ja valolle alttiiseen pintakerrokseen. Ko. kerrokset voivat lisäksi olla paikallisesti melko hapettomia, jolloin seurauksena voi olla veden happitasapainon huonontumista.

Suurin vaikutus ravinnepitöisen alusveden "kumpuamisesta" pintaan on levätuotannon kasvaminen ja pintaveden suolapitoisuuden kasvaminen. Alusliikenteen aiheuttama sekoittuminen on voimakkaimmillaan kesäaikana, jolloin tuulten aiheuttama sekoittuminen on vähäistä, meri on kerrostunut ja pintakerroksen biomassan kasvuolosuhteet ovat maksimaaliset.

Alusliikenteen aiheuttama sekoittuminen on mahdollisesti yksi tekijä havaitusta Itämeren pintakerroksen suolaisuuden kasvamisesta viime vuosikymmenien aikana.

Kuvassa 27 on esitetty havaintotulosten perusteella suhteellisen suolapitoisuuden kasvu Itämeressä. Kuvaan on myös piirretty lähteen (Jurgensen, C., 1989) perusteella arvioitua käyrät alusliikenteen aiheuttamasta sekoittumisesta. Todetaan viime sotien jälkeen voimakkaasti kasvaneen alusliikenteen aiheuttaman sekoittumisvaikutuksen korreloivan todetun suolapitoisuuden kasvun kanssa hyvin.



Kuva 27. Suhteellinen suolapitoisuus Itämeressä 1900-1990. Käyrät "Bal." ja "Chr." kuvaavat havaittuja suolapitoisuuksia Itämeressä, käyrä "OS" kuvaa makean veden ja suolaisen veden arvioitua määrää, käyrät "1S" ja "2S" alusliikenteen lisävaikutusta käyrään "OS."

6 ALUSLIIKENTEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN HUOMIOINTI SUUNNITTELUSSA

Jorma Rytönen

Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Laivatekniikan laboratorio

Aluksen aiheuttaman aallokon ja virtausten pienentäminen tietyllä väylällä voidaan periaatteessa suorittaa vain alueellisen nopeusrajoituksen avulla, jota aluksen tulisi noudattaa. Valitettavasti nopeuden rajoittaminen ei ole helppo tehtävä. Laivaväylien suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon alusliikenteen taloudellisuustekijät (polttoainekulut, Suomen ja Ruotsin välinen linjaliikenne jne.), turvallisuustekijät ja aluksen ohjailtavuusominaisuudet väylällä eri nopeuksilla vaihtelevissa olosuhteissa.

6.1 Väylän suunnittelu

Laivaväylän suunnittelussa pyrkimyksenä on saavuttaa niin hyvä ja turvallinen ratkaisu kuin tietyllä investoinnilla voidaan saavuttaa. Taloudelliset tekijät, rahoitukselliset tekijät ja rakentamiskustannukset useimmiten aiheuttavat poikkeamia alustavasta

väyläsuunnitelmasta, ja vain erittäin harvoin lopullinen suunnitelma voidaan toteuttaa siten, että kaikki tarpeelliset suunnitteluparametrit voitaisiin toteuttaa. Päähuomio suunnataankin oleellisimpiin tekijöihin, kuten

- helppoon navigoitavuuteen,
- turvallisuuteen,
- taloudelliseen käyttöön ja
- rakentamisen ja huollon helppouteen ja halpuuteen.

Laivaväyliä suunnittelun tulee taata riittävä tilantarve sekä lateraali, että syvyys suunnassa. Väylän tulee olla soveltuvan poikkileikkauksen lisäksi linjaukseltaan sellainen, että navigointi aluksella voidaan toteuttaa normaalein menettelyin turvallisesti. Eräissä tapauksissa tämä voi tarkoittaa luotsien tai hinaajan hyväksikäyttöä. Alusturvallisuus tulee korostetusti esille kapeissa, kaksisuuntaisissa väylissä, jolloin sekä väylämerkkintöjen, aluksen ominaisuuksien ja olosuhteiden tulee nivoutua yhteen parhaimmalla mahdollisella tavalla. Suunnittelussa tulee oletusarvona väylää käyttävän aluksen suhteen käyttää mitoiltaan ja syvyykseltään suurinta odotettavissa olevaa alusta, tai huonoimmat ohjailuominaisuudet omaavaa alusta (Harlow, E. H., 1992).

Koska lait ja asetukset onnettomuustapausten syyllisyyssiekoissa vaihtelevat laajasti ei väyläsuunnittelua varten ole olemassa normitettua ohjetta, vaan sovellettavat kriteerit ovat paikkakohtaisia. Väyläsuunnittelulle perustan luovat kuitenkin useat kansainväliset suositukset ja Merenkulkuhallituksen väyläsuunnittelijoiden kokemus, jossa Itämerelle tyypilliset karikkoiset ja ahtaat väylät voidaan parhaiten ottaa huomioon.

6.2 Ulkoiset olosuhteet

Väyläsuunnittelun yleisten vaatimuksien lisäksi tulee lopullisessa suunnittelussa huomioida Itämeren erityisolosuhteet, jotka monessa tapauksessa merkitsevät haasteellista suunnittelua alusturvallisuuden ja ympäröivän luonnon yhteensovittamiseksi. Keskeisimpiä erityistekijöitä ovat tällöin (RIL 123, 1979):

- rannikon vesialueiden mataluus ja kivisyys, joka toisaalta merkitsee kasvavaa ruoppaustarvetta kulkusyvyydeltään jopa suhteellisen matalilla väylillä, toisaalta kova pohja merkitsee tarvetta minimoida kalliita louhintakustannuksia;
- väylän linjaukset ovat epäsäännöllisiä ja mutkikkaita;
- näkyvyys syksyllä ja talvikuukausina voi olla poikkeuksellisen huono, joka tulee huomioida väylämerkkintöjen, navigoinnin turvallisuus- ja apuvälineiden suunnittelussa;
- jää voi aiheuttaa väylän hoidon suhteen yllättäviä lisäkustannuksia;
- vuoroveden pienuus ja voimakkaiden virtausten harvinaisuus kuvaavat myös yleisiä hydraulisia olosuhteita. Ilman paineen vaihteluista aiheutuvat veden pinnan vaihtelut voivat toisaalta olla suuria, ja yli 1.5 m/s virtausnopeuksia on mitattu eräissä Perämeren kohteissa.

6.3 Aluksen ominaisuudet

Alukset käyttäytyvät eri tavalla propulsiolaitteen kierrosluvun, ruorikulman ja tuulen nopeuden ja suunnan muutoksiin. Aluksen maksimi sortuminen halutulta kurssilta tulee huomioida väylän tilantarpeen arvioinnissa. Aluksen ohjailtavuus voidaan jakaa eri osiin: yksi osa on rungon muoto yhdessä ohjailulaitteiden kanssa. Aluksen kontrollijärjestelmä koostuu tutkista, autopilotista, ja nykyaikaista joystick-ohjausta voidaan myös pitää yhtenä aluksen ohjailtavuuteen vaikuttavana tekijänä. Eri laitteiden välinen integraatio ja komentosillan järjestelmä vaikuttavat myös voimakkaasti aluksen käsittelyyn väylällä.

6.4 Aluksen rungon suunnittelu ja nopeusrajoitukset

Aluksen nopeuden lisäys kasvattaa myös nopeuspainumaa, jolloin myös aallon muodostuminen kasvaa. Ruopatussa kapeahkossa laivaväylässä reunojen imuvaikutus kasvaa aluksen nopeuden kasvaessa. Aluksen rungon läheinen virtaus ja rungon ja reunojen välinen imuvaikutus pysyy suhteellisen vakiona pienillä alusnopeuksilla, mutta kasvaa nopeasti nopeuden lisäyksen jälkeen erityisesti matalissa kanavissa (vesisyvyyden ja syväyden suhde n. 1.18). Aluksen ohjailtavuus heikkenee ao. rajanopeuden jälkeen. Matalassa kölin ja merenpohjan välisen varaveden ollessa pieni kriittinen raja-arvo edustaa tilannetta, jossa aluksen ohjailtavuus on huonoin. Vastaavaa äkillistä muutosta ohjailtavuudessa ei esiinny leveämissä ja syvemmissä kanavissa tai väylissä.

Alusnopeutta pienentämällä voidaan siis pienentää squat- vaikutusta, erityisesti ohitettaessa kapealla väylällä, ylitettäessä matalikko tai vaikeissa käänöksissä, joissa lisäksi reunojen imuvaikutukset saattavat poikkeuttaa aluksen reitiltään. Alusnopeuden pienentämisellä ei toisaalta väylän turvallisuuden kannalta saavuteta läheskään aina tyydyttävää tulosta, sillä turvallisuuden voidaan ajatella olevan kääntäen verrannollinen alusnopeuteen varsinkin nopeuden pienetessä tietyn raja-arvon alle. Tällöin pieni nopeus aiheuttaa ohjailtavuuden menetyksen ja mutkailun kasvamisen ohjailussa (Herbich, J. B., 1992). Käytettävät peräsinkulmat saattavat kasvaa niin suuriksi, ettei pienillä nopeuksilla voida tyydyttävästi vastata tuulen ja virtauksen aiheuttamiin poikkeamiin. Edelleen ajettaessa suurilla peräsinkulmilla menetetään yllättävissä vaaratilanteissa äkillisten ohjailuliikkeiden tekemisen mahdollisuus, jolloin pienennetään ratkaisevasti merenkulun turvallisuutta. Näinollen tietyn aluksen nopeutta ei voida pienentää tietyn raja-arvon alapuolelle erityisesti kapeassa ruopatussa väylässä tai kapeikossa. Monessa tapauksessa puhuttaessa laivaliikenteen ympäristövaikutuksista esiintyvät aluksen aiheuttamat virtaus- ja aaltoilmiöt voimakkaammillaan juuri ohjailun kannalta vaikeissa paikoissa, joissa toisaalta tarvitaan väylän käytön kannalta riittävä ajonopeus.

Aluksen aiheuttamista aalloista ruopatussa laivaväylässä löytyy verrattain vähän luotettavaa tutkimustietoa. Suurimmat aalto-ongelmat esiintyvät tavallisesti mataliin jokisuistoihin kaivetuissa kanavissa ja laivaväylissä. Suuret alukset saapuessaan matalaan väylään aiheuttavat äkillisen vedenpinnan aleneman ja voimakkaan paluuvirtauksen aluksen ja reunan väliin, jonka on todettu usein aiheuttavan väylän reunojen eroosioitumista.

Suurten ja hitaiden alusten aiheuttamien aaltojen vaikutus sinänsä ei ole suuri verrattuna aluksen aiheuttaman veden pinnan vaihteluun rannalla. Toisaalta pienet nopeakulkuiset alukset voivat aiheuttaa hyvinkin suuren kanava-aallon, mutta niiden aiheuttama veden pinnan heilahtelu rannalla on suhteellisen pieni. Alusten aiheuttamien vaikutusten suhteen suhteen voidaan todeta eräitä piirteitä:

- suurten alusten aiheuttamat veden pinnan vaihtelut ruopatussa kanavassa tai matalassa ja kapeassa väylässä riippuvat aluksen syvyydestä ja nopeudesta. Yleensä suurempi alusnopeus ja syväys merkitsee voimakkaampia aluksen indusoimia virtauksia ja suurempaa vedenpinnan alenemaa;
- pienten alusten aiheuttamat aallot riippuvat periaatteessa aluksen nopeudesta;
- suurempien ja hitaampien alusten aiheuttama veden pinna alenema on tavallisesti suurempi kuin pienten ja nopeiden alusten aiheuttama;
- suurempien ja hitaampien alusten aiheuttamat aallot ovat huomattavan pienet verrattuna pienten ja nopeiden alusten aiheuttamiin aaltoihin. Pienten alusten aiheuttama veden pinnan heilahtelu (surge) on rannan stabiliteetin kannalta merkityksetön.

Ylläolevasta on todettava, että ilmiöt on havaittu alusliikenteessä kaivetuissa kanavissa, mutta että ne ovat analogisia meriväylien kapeikoissa ja matalilla ruopatuilla väylillä.

6.5 Johtopäätöksiä

Alusten aallonmuodostusominaisuudet ovat selvästi parantuneet erityisesti Ruotsin ja Suomen välisten autolauttojen suhteen. Pyrkimyksenä ei suoranaisesti ole ollut pienentää aallon muodostusta ympäristövaikutusten mielessä, vaan aluksen taloudellisuuden parantamisen mielessä. Aaltovastuksen ollessa osa kokonaisvastusta pienenee myös kokonaiskulkuvastus aaltovastuksen pienentymisen myötä. Uuden sukupolven alusten aallonmuodostus onkin pienempi suhteessa aiemman sukupolven aluksiin.

Tukholman saaristossa suoritetuissa väylän reuna-alueiden eroosiokartoituksissa (Granath, L., 1991 ja Magnusson, I., 1990) on todettu, etteivät todetut eroosioauriot yksinomaan selity autolauttojen aiheuttamista aalloista (Granath, L., 1992), vaan pienemmätkin alukset (Vaxholmsbåtarna) ja huviveneily ovat aiheuttaneet eroosioaurioita. Pienempien alusten aallot ovat myös usein olleet korkeampia kuin suurten autolauttojen, joiden aallonmuodostusta myöskin rajoittaa saariston herkimmillä alueilla erilaiset nopeusrajoitukset.

Aluksesta aiheutuvilla aalloilla on kuitenkin väylien reuna-alueiden ympäristövaikutuksia arvioitaessa tärkeä merkitys, joka korostuu esimerkiksi aallon murtuessa rantaan. Murtuva aalto indusoi rannassa turbulენტtisia ja voimakkaita virtauksia, joiden eroosiota kasvattava vaikutus on tasaiseen virtaukseen verrattuna suurempi. Voimakkaasti turbulენტtinen virtaus lisäksi löyhdyttää ja irrottaa maa-ainesta hienoista maamateriaaleista koostuvilla pohjilla.

Aluskoon kasvun myötä ehkäpä merkittävämmäksi ympäristötekijäksi nousee hydraulisessa mielessä erilaiset aluksen indusoimat virtaukset, jotka korostuvat ahtailla, ja matalilla väylillä. Suoritetuissa mittauksissa on aluksen aiheuttamien virtausnopeuksien todettu olevan rantaviivan läheisyydessä jopa 1 - 2 m/s.

Kapeilla väylillä aluksen aiheuttama veden pinnan vaihtelut rannalla 'pumppaavat' vettä edestakaisin pitkiäkin aikoja, jolloin maa-aines altistuu voimakkailla virtauksille, virtauksiin tottumattomat kasvit ja pieneliöt huuhtoutuvat pois jne.

Aaltojen ja virtausten yhteisvaikutukseen vaikuttaa oleellisesti rannan pohjamateriaalin koostumuksen lisäksi rannan kaltevuus ja edessä oleva meren pohjan topografia. Rannan kaltevuuden ollessa sopiva (loiva) voi alkanut eroosio pysähtyä rannan saavutettua uuden, stabiilimman muodon. Jyrkemmillä rannoilla pohjamateriaali virtausten ja aaltojen vaikutuksesta kulkeutuu pois rannalta, jolloin eroosio voi olla jatkuvaa.

Virtausten ja aaltojen ympäristövaikutuksien arviointia vaikeuttaa monesti yksinkertaistettujen laskentakaavojen ja teorian soveltaminen monimuotoisiin saaristo-olosuhteisiin. Lisäksi käytetyt mittausmenetelmät ovat useasti olleet kirjavia, ja tulosten luotettavuudesta tai virherajoista ei välttämättä ole selvää kuvaa.

Erityisesti virtausten mittaaminen luotettavasti rantavyöhykkeellä on teknisesti vaativa tehtävä. Luonnossa lisäksi esiintyvät ristivaikutukset, tuuli, luonnon aallot ja virtaukset vaikeuttavat mittaustulosten analysoimista ja oikeiden parametrien vaikutusten selvittämistä tutkittaviin ilmiöihin.

Alusliikenteen virtausten aiheuttama termokliinin sekoittuminen on ympäristövaikutusten mielessä tekijä, jonka vaikutus saattaa olla aiemmin arvioitua suurempi. Seurauksena voi sopivien olosuhteiden vallitessa olla levien kasvun lisääntymistä, ja veden laatuun liittyvien tekijöiden paikallisia muutoksia.

7 ALUSLIIKENTEEN EKOLOGISET YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

7.1 Laivaliikenteen vaikutukset saariston matalan veden ekosysteemissä

Olof Rönnberg, Magnus Östman ja Hans-Peter Fagerholm
Åbo Akademi, Biologian laitos

7.1.1 Johdanto

Saaristossa eri kokoiset saaret ja karit suojaavat merenkäynniltä ja samalla huomattavasti pidentävät rantaviivaa. Täällä elämä on monimuotoisinta ja runsainta matalilla, rannanläheisillä pohjilla. Etenkin kalliorannat, Turunmaan ja Ahvenanmaan saariston vallitseva rantatyyppi, kuuluvat levävyöhykkeeseen koko Itämeren runsaslajisimpiin ja tuottavimpiin biotooppeihin.

Autolauttojen aiheuttamien aaltojen vaikutus kalliorantojen leviin ja niiden eläimistöön olikin ensimmäisiä meribiologisia tutkimuskohteita Suomessa selviteltäessä laivaliikenteen ympäristövaikutuksia saaristovesissä. 1970-luvulla kartoitettiin Åbo Akademiassa levävyöhykkeiden syvyysjakautumaa eräiden vilkkaasti liikennöityjen laivaväylien varrella Saaristomerellä; samaan aikaan tehtiin myös tutkimuksia levävyöhykkeiden kasvistosta ja eläimistöstä (Fagerholm 1975 ja 1978, Rönnerberg 1981). 1980-luvulla tutkittiin vaikutuksia pääasiassa yksilötasolla (mm. rakkolevää) sekä kallioaltaita laivaväylän varrella (Rönnerberg ym. 1991 ja 1992, Östman ja Rönnerberg 1991). 1990-luvun alussa on 1970-luvun kartoituksia toistettu seurantatarkoituksessa sekä käynnistetty kvantitatiivisia tutkimuksia. Näin saadaan tietoa mahdollisista pitkäaikaismuutoksista laivaliikenteen vaikutuksen alaisissa litoraaliyhteisöissä. Vastauksia odotetaan myös kysymykseen, vaikuttaako harvalukuisten mutta suurten alusten kohtalainen aalto (1990-luvulla) levävyöhykkeiden eläimistöön ja kasvistoon vähemmän kuin lukuisten pienten alusten aiheuttama voimakas aalto (1970-luvulla).

7.1.2 Laivaliikenteen aiheuttamat veden liikkeet

Määräviä tekijöitä laivaliikenteen aiheuttamien "väyläaaltojen" rantaan kohdistuvien vaikutusten muodostumisessa ovat ennen muuta aluksen koko ja nopeus, veden syvyys, rannan topografia ja sen etäisyys väylästä. Aluksen kulkiessa kapean salmen läpi vedenpinta aluksi kohoaa (paineaalto) ja laskee pian sen jälkeen (imu). Vedenpinnan laskua seuraavat varsinaiset väyläaallot, jotka levittäytyvät aluksen perän puolella. Nämä aallot muistuttavat lähinnä maininkeja; ne ovat huomattavasti pidempiä ja nopeammin eteneviä kuin samankorkuiset tuulen aiheuttamat aallot. Vesimassa liikkuu jokaisen aallonharjan mukana eteenpäin aallon liikesuunnan mukaisesti, toisin kuin tavallisten tuulen aiheuttamien aaltojen vesi, joka liikkuu renkaanmuotoista orbitaalirataa.

Matalassa vedessä väyläaallot kuljettavat irtainta pohja-ainesta rantaa kohti ja alkuperäiset kalliopohjat peittyvät osittain sedimentillä. Veden mukana kulkeutuvat hiukkaset lisäävät veden kuluttavaa vaikutusta rantavyöhykkeeseen.

Tuuli ja merenkäynti vaikuttavat väyläaaltoja vaimentavasti. Avomerellä ja suurilla selillä ne vaimenevat nopeasti, aaltojen vaikutukset ovatkin suurimmillaan juuri ahtaissa kulkuvesissä.

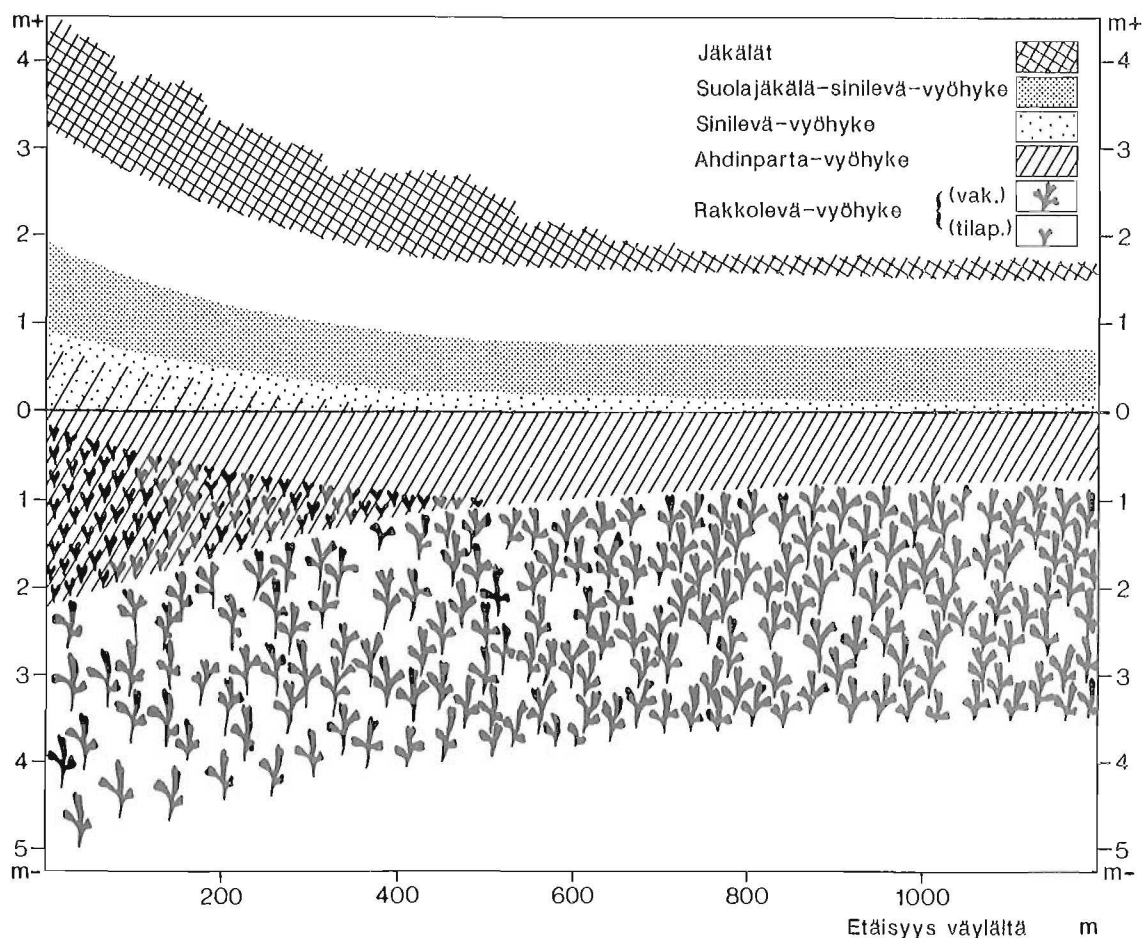
Mutkaisilla saaristoväylillä vaikuttavat myös laivan kurssin muutokset sen synnyttämien aaltojen laatuun. Mutkien ulkokaarteessa aallot leviävät laajemmalle alueelle ja vaimenevat nopeammin kuin aallot, jotka syntyvät suoran väyläosan varrella. Mutkan sisälaidalla taas aaltovaikutus konsentroituu ja näin muodostuu lyhyitä ja korkeita aaltoja, joiden energiasisältö on suuri.

7.1.3 Vaikutukset matalilla pohjilla

Ohikulkevien alusten aiheuttamat aallot vyöryvät säännöllisin väliajoin väylän varrella olevien kalliorantojen yli, jolloin kasvillisuusvyöhykkeiden syvyysjakauma muuttuu suhteessa etäisyyteen laivaväylältä (Kuva 28). Maalla elävät jäkälät sekä suola- tai rupijäkälän (*Verrucaria maura*) muodostama tumma vyöhyke ja vesirajassa esiintyvän *Calothrix scopulorum* sinilevän kasvustot siirtyvät rannalla ylemmäksi. Rihmalevä-

vyöhyke, joka tavallisesti kasvaa vesirajasta noin 1 m syvyyteen ja jossa ahdinparta (*Chladophora glomerata*) esiintyy kesällä vallitsevana lajina, siirtyy sekin osittain korkeammalle vesirajasta. Kirkkaanvihreän suolilevän (*Enteromorpha* spp.) kasvustoja muodostuu halkeamiin ja kallionkoloihin, joihin laivaliikenteen rannoille nostamaa vettä voi kertyä.

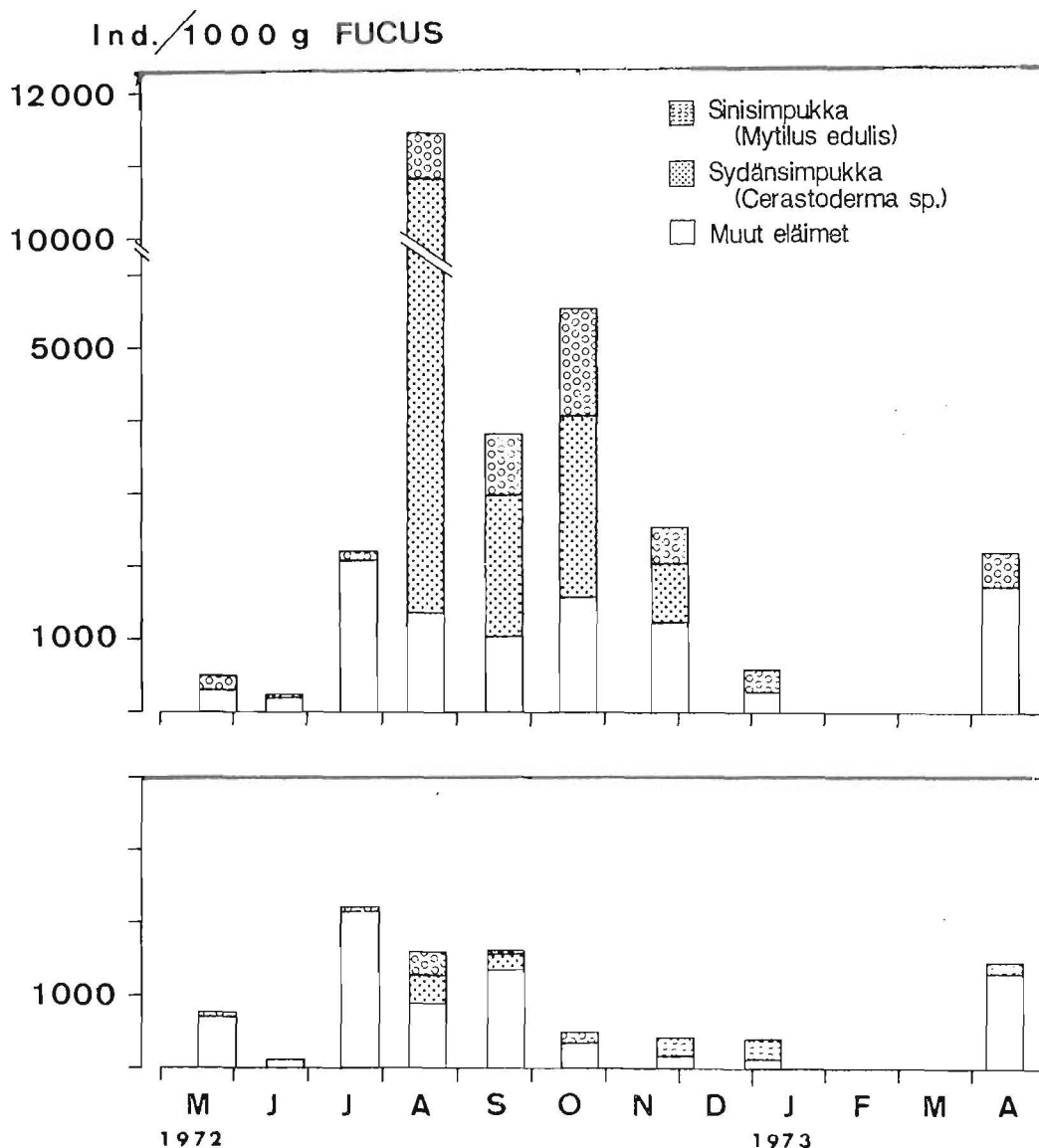
Väylän lähellä sijaitsevat kalliorannat ovat talvisin alttiina voimakkaalle jäiden aiheuttamalle eroosiolle. Täällä rakkolevä (*Fucus vesiculosus*) kasvaakin huomattavasti syvemmällä kuin tavallisesti. Rakkoleväkasvusto "harsuuntuu" kun veteen liettynyt pohjasedimentti heikentää valaistusolosuhteita ja osittain peittää kivipohjan. Vuosijaksoina, jolloin talvet ovat hyvin leutoja ja kokonaan jäättömiä tai jätää on vain nimeksi (esim. 1973-75 ja 1988-92) kasvaa vesirajan hydrolitoraaliin tilapäinen rakkoleväkasvusto vakituisen rakkolevävyöhykkeen ja keskivesirajan väliin, missä yleensä kasvaa rihmaleviä. Väylän läheisyydessä, missä laivojen aiheuttama jatkuva aallokko pitää rannan märkänä myös meriveden ollessa alhaalla, ulottuu tämä usein hyvinkin tiheä rakkoleväkasvusto aina vesirajaan saakka (Kuva 28). Tätä ilmiötä, kasvillisuusvyöhykkeiden laajenemista syvyyssuunnassa ja niiden työntymistä rannalla ylöspäin, voidaan verrata keinotekoiseen vuoroveteen - merivesi peittää rannan alusten kulkiessa ohi jokseenkin täsmällisen aikataulun mukaan.



Kuva 28. Kasvillisuusvyöhykkeiden sijainti suhteessa vedenpintaan muuttuu laivaväylää lähestyttäessä. Tilapäinen rakkolevävyöhyke kehittyy hydrolitoraaliin vuosijaksoina, jolloin talvet ovat poikkeuksellisen leutoja (Rönnberg 1981, muunneltu).

Kasvillisuusvyöhykkeiden siirtyessä vähenee sekä lajiluku että kasvien määrä (biomassa) eri vyöhykkeissä. Vaikutukset ovat selvimpiä ahdinpartavyöhykkeessä (0-2 m) mistä aallokolle herkimvät lajit, kuten pienikokoiset ruskolevät (esim. *Ectocarpus siliculosus*, *Eudesme virescens* ja *Dictyosiphon chordaria*), useimmiten puuttuvat kokonaan (Rönnerberg 1981). Väyliä läheisyydessä rakkolevää kasvaa harvassa, kuten edellä mainittiin, koska sedimentti osaksi peittää kivipohjan. Rakkolevä voi tällöin muodostaa sekakasvustoja pehmeiden pohjien kasvilajien, kuten hapsivitan (*Potamogeton pectinatus*) ja *Tolypella nidifica* näkinpartaislevän kanssa. Kasvilajien kokonaismäärä voi näin ollen olla jonkin verran suurempi kuin luonnontilaisilla rannoilla, joskin rakkolevän biomassa pienenee huomattavasti väyliä läheisyydessä olevilla rannoilla.

Rihma- ja rakkolevävyöhykkeen eläinyhteisöihin laivaliikenne vaikuttaa lajirunsautta, yksilötiheyttä ja biomassaa vähentävästi verrattuna aallokolta suojattuihin rantoihin (Fagerholm 1975 ja 1978). Syksyllä tämä ilmenee rakkolevävyöhykkeessä siten, että eläinten määrä pienenee normaalia aikaisemmin aallokon vaikutuksesta ja veden lämpötilan alenemisesta johtuen (Kuva 29).



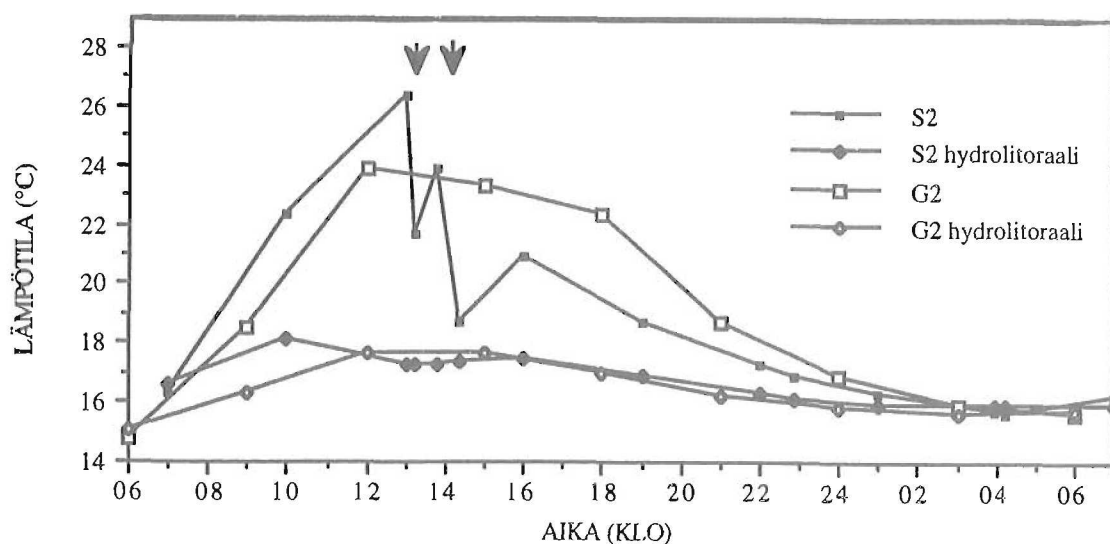
Kuva 29. Makrofaunan yksilötiheys (yks./1000g rakkolevää, märkápaino) suojaisella (ylhäällä) ja väyläaalloille alttiina olevalla (alhaalla) rannalla (Fagerholm 1978).

Seurantatutkimukset Ahvenanmaan saaristossa aikaisemmin tutkitulla alueella osoittavat, että vaikka lajiluku on jokseenkin muuttumaton on eläinten biomassa (g/kg levää) huomattavasti suurempi kuin 20 vuotta sitten paikoilla, joihin laivojen aallot suoranaisesti kohdistuvat. Tämä muutos ilmentää Itämeren jatkuvaa rehevöitymistä, jonka vaikutukset ensisijaisesti näkyvät paikoilla, joissa veden vaihtuminen on voimakasta.

Satelliittikuvien perusteella on voitu osoittaa, että veden luonnollinen lämpötilakerrostuneisuus häiriytyy alueella, joka on ainakin 8 km levyinen ja ulottuu 18 km etäisyydelle ohittaneesta aluksesta (Fagerholm et al. 1991). Väylän läheisillä rannoilla tämä merkitsee, että pintaveden lämpötila keväällä on korkeampi ja että esim. leväkatkojen (*Gammarus* spp.) nuoruusasteita esiintyy aikaisemmin kuin suojatuilla rannoilla.

7.1.4 Kallioaltaat laivaväylän varrella

Laivaväylän varrella sijaitsevia kallioaltaita tutkittiin 1980-luvun loppupuolella Ahvenanmaan kaakkoissaaristossa (Östman ja Rönnberg 1991). Näissä kallioaltaissa ("väyläaltaita") tapahtuu säännöllinen ja täydellinen vedenvaihto suurten autolauttojen kulkiessa niiden ohi samaan aikaan joka päivä. Tästä johtuen väyläaltaat muistuttavat valtamerten rantojen vuorovedelle alttiita kallioaltaita. Väyläaltaiden veden lämpötila, happipitoisuus ja pH-arvo nousevat ensin aamulla ja aamupäivällä kunnes iltapäivällä tapahtuu äkillinen lasku altaiden täyttyessä uudella merivedellä autolauttojen kulkiessa ohi (Kuva 30). Pitemmällä ajalla tarkasteltuina väyläaltaiden suolapitoisuudet pysyvät ympäröivän meren vakaalla tasolla kun taas luonnollisille aalloille alttiissa kallioaltaissa sekä sateet että poutajaksot saavat aikaan toisaalta alhaisia, toisaalta erittäin korkeita suolapitoisuuksia, etenkin meriveden ollessa alhaalla. Näissä oloissa kallioaltaissa esiintyvän tyyppilajin, suolilevän *Enteromorpha intestinalis*, peittävyys ja biomassa pienenevät, kun taas väyläaltaissa suolilevän peittävyys ja biomassa kasvavat kesän aikana.



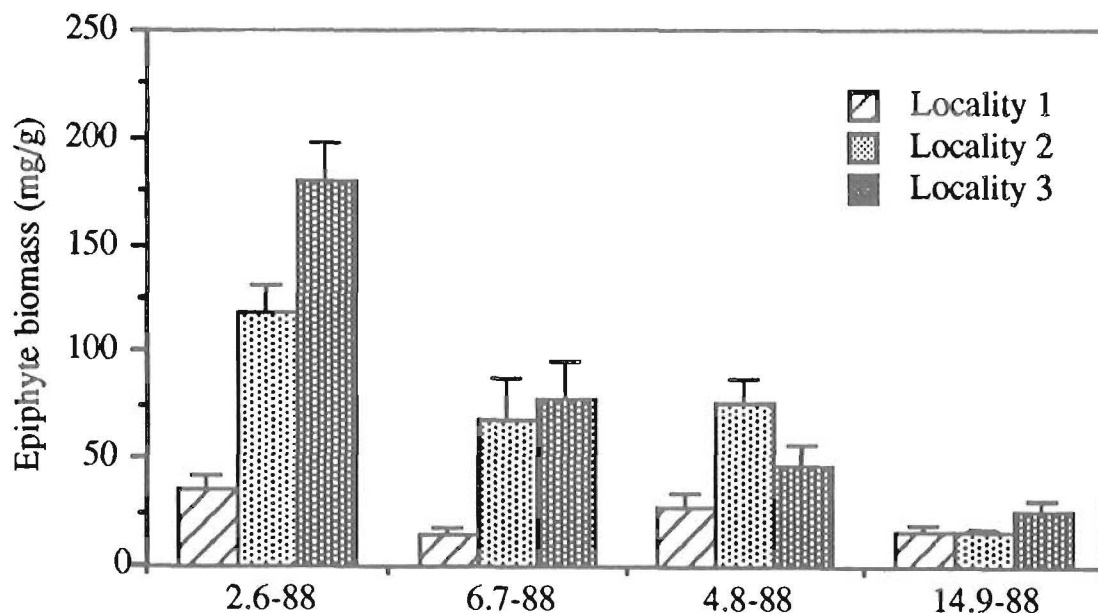
Kuva 30. Veden lämpötila väyläaltaissa (S 2), luonnollisille aalloille alttiissa kallioaltaissa (G 2) sekä hydrolitoraalissa kallioaltaiden alapuolella aurinkoisena ja heikkotuulisena päivänä (29. - 30. heinäkuuta 1986) jolloin tuulen synnyttämät aallot eivät ulottuneet G 2:een. Nuolten kohdalla merivettä virtaa väyläaltaaseen autolauttojen kulkiessa ohi (Östman & Rönnberg 1991).

Tutkimuksissa havaittiin autolauttojen synnyttämien voimakkaiden peräaaltojen kuljettavan hydrolitoraalin rakkolevä- ja rihmalevävyöhykkeessä eläviä eläimiä kallioaltaisiin. Esimerkkeinä tästä voidaan mainita leväkatkat *Gammarus oenicus*, *G. zaddachi* ja *G. salinus*, jotka esiintyvät väyläaltaissa yhtä yleisinä kuin kallioaltaiden tyyppilaji, *G. duebeni*. Muista eläimistä erityisesti kallioaltaiden runsaslukuisimman eläinlajin, vesipunkki *Hyadesia fusca*'n, ja surviaissääskitoukkien (Chironomiidae) tiheydet ovat selvästi alhaisempia väyläaltaissa kuin luonnolliselle aallokolle alttiissa kallioaltaissa.

7.1.5 Rakkolevä väyläaaltojen indikaattorina

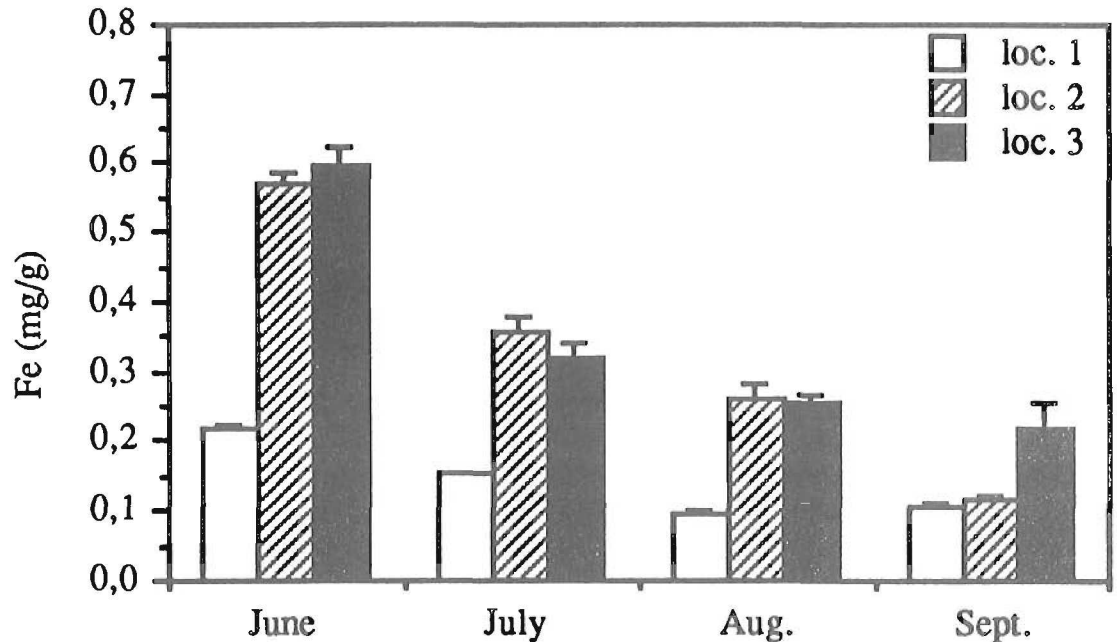
Rakkolevä, ainoa monivuotinen mereinen suurlevämme, voi pitkäikäisenä altistua mm. ravinne- ja raskasmetallipäästöille sekä fysikaaliselle stressille, esim. väyläaalloille. Levän vasteita voidaan mitata kohonneina ravinne- ja metallipitoisuuksina sen kudoksissa tai heikentyneenä lisääntymisenä ja kasvuna. Rakkolevä ja muut suuret ruskolevät ovat siten käyttökelpoisia indikaattoreita arvioitaessa pitkäaikaisia ympäristövaikutuksia rannikon läheisillä merialueilla.

Lämpötilakerrostuneisuuden häiriytyminen ja jatkuva pohja-aineksen liettyminen veteen sekä uudelleen sedimentoituminen lisää ravinteiden liikkuvuutta vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Tästä hyötyvät etenkin nopeakasvuiset yksivuotiset rihmalevät, mikä ilmenee etenkin rakkolevän päällyskasvuston lisääntymisenä (Kuva 31). Pohjasta ylös kohoavilla, taipuisilla rakkolevätuppailla kasvavat rihmamaiset rusko- ja viherlevät kestävät voimakkaita veden liikkeitä paremmin kuin kiinteällä kivipohjalla, jossa eroosio on huomattavasti voimakkaampaa. Rakkolevänsikin kasvu hyötyy mutta huonontuneet valaistusolosuhteet ja kilpailu nopeakasvuisten rihmalevien kanssa aiheuttavat sen, että lisääntynyt pituuskasvu ilmenee vain syksyisin, jolloin päällyskasvuston leviä on vähemmän.



Kuva 31. Makroskooppisten päällyskasvuston levien biomassa (mg/g *Fucus*) rakkolevällä autolauttojen vilkkaasti liikennöimän väylän läheisyydessä Lemlannin saaristossa (Askörännan) Ahvenanmaalla, kesä-syyskuussa 1988. Ranta 1 on aalloilta suojassa, rannat 2 ja 3 ovat välittömästi väylän varrella, 200 ja 500 m etäisyydellä siitä (Rönnberg et al. 1991).

Laivaliikenteen aiheuttamat veden liikkeet ja sedimentin kuljetus vaikuttavat myös useiden sellaisten metallien saatavuuteen, jotka kuuluvat n.s. biogeenisiin, kasveille välttämättömiin alkuaineisiin. Rakkolevä sisältää huomattavasti enemmän esim. rautaa (Kuva 32) mutta vähemmän sinkkiä rannoilla, jotka ovat jatkuvasti alttiina väyläaaltoille.



Kuva 32. Rautapitoisuus (mg/g *Fucus*) rakkolevän kärjissä autolauttojen vilkkaasti liikennöimän väylän läheisyydessä Lemlannin saaristossa (Askörännan) Ahvenanmaalla, kesä-syyskuussa 1988. Ranta 1 on aalloilta suojassa, rannat 2 ja 3 ovat välittömästi väylän varrella, 200 ja 500 m etäisyydellä siitä (Rönnberg et al. 1992).

7.1.6 Yhteenveto

Laivaliikenne vaikuttaa sekä positiivisesti että negatiivisesti matalien pohjien eliöyhteisöihin:

- + Yksivuotiset rihmalevät hyötyvät väyläaaltojen mobilisoimista ravinteista; tämä näkyy etenkin rakkolevällä elävän päällyskasvuston määrän kasvuna.
- + Eräät levät ja niillä esiintyvät vesieläimet voivat laajentaa esiintymisaluettaan rannalla (mm. kallioaltaisiin) liikenteen aiheuttaman "vuorovesivaikutuksen" turvin.
- Väyläaaltojen kitka ja dynaaminen paine rantakallioita vasten pyrkii irrottamaan pohjaan kiinnittyneitä eliöitä, jolloin niiden lajiluku ja biomassa pienenee.
- Sedimentin kulkeutuminen kohti rantaa muuttaa alkuperäiset stabiilit kovan pohjan eliöyhteisöt vähemmän stabiileiksi sekayhteisöiksi.
- Biogeenisten alkuaineiden saatavuus muuttuu; sekä liian korkeat että liian alhaiset pitoisuudet vaikuttavat haitallisesti eliöiden kehitykseen.

7.2 Laivaliikenteen vaikutukset kalatalouteen merialueella

Luvut 7.2.1, 7.2.2 ja 7.2.3

Marjut Rajasilta

Turun maaseutuelinkeinopiiri, kalatalousyksikkö

Luku 7.2.4

Hannu Lehtonen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

7.2.1 Johdanto

Laivaliikenne on koettu ympäristöongelmaksi erityisesti Saaristomerellä ja Tukholman saaristossa. Tämä johtuu suureksi osaksi rannikon maantieteellisistä ominaisuuksista: satamat sijaitsevat väylän kummassakin päässä leveän saaristovyöhykkeen sisäosassa, josta on pitkä matka avomerelle; väylät ovat kapeita ja vilkkaasti liikennöityjä. Liikenteen vaikutuksille on tästä syystä alttiina laaja saaristoalue toisin kuin sellaisilla rannikon osilla, joilla etäisyys satamasta avomerelle on lyhyt.

Kalastukselle laivaliikenne on aiheuttanut ongelmia juuri Saaristomerellä, jossa kalastus on perinteisesti tärkeä elinkeino. Silakan rysäpyynti, talvinuottaus ja troolikalastus sekä suomukalan verkkopyynti ovat yleisimpiä pyyntimenetelmiä alueella, mutta myös suurin osa rannikkomme kalankasvatuslaitoksista sijaitsee Saaristomerellä. Etenkin Turun edustan merialueella (kuva 33) liikenne on koettu kalastusta rajoittavana ja haittaavana tekijänä, mutta kalastajat ovat täällä olleet huolestuneita myös siitä, että liikenne voi aiheuttaa vahinkoa kalakannoille. Suurimpana ongelmanaiheuttajana on pidetty autolauttaliikennettä, jossa aluskoon ja liikennetiheyden kasvaminen etenkin 1970 -luvulla sai kalastajat vaatimaan varustamoilta korvauksia kalastuselinkeinoon harjoittamisen vaikeutumisesta.

Laivaliikenteen kalataloudellisia vaikutuksia on maassamme tutkittu ainoastaan Saaristomerellä, missä pahimmin liikenteestä on kärsinyt silakan rysäkalastus. Ström (1977) selvitti laiva-aallokon rysille aiheuttamia vahinkoja ja Rajasilta (1982) liikenteen vaikutuksia kaloihin ja kalastukseen lähinnä Turun edustan merialueella. Tämä kirjoitus perustuu suurelta osin näihin tutkimuksiin sekä aiheesta muualla julkaistuun materiaaliin.

7.2.2 Liikenteen vaikutustavoista

Laivat aiheuttavat ympäristössä sekä fysikaalisia että kemiallisia muutoksia. Fysikaalisilla muutoksilla tarkoitetaan esimerkiksi veden virtauksien muuttumista ja aallokkoa, joilla puolestaan on erilaisia seurannaisvaikutuksia vesiluonnossa. Laivoilla on myös kemiallisia ympäristövaikutuksia: polttoaineiden rikki- ja typpiyhdisteet kuormittavat väyläalueen vesistöä ja laivoista voi päästä erilaisia haitta-aineita veteen joko tahattomasti tai tahallisesti. Seuraavassa käsitellään kuitenkin vain fysikaalisia muutoksia ja niiden seurauksia.



Kuva 33. Silakkarysät (●), kalankasvatuslaitokset (▲) ja tärkeimmät troolausalueet (///) Turun edustan merialueella.

7.2.2.1 Vaikutukset kalojen käyttäytymiseen

Laivaliikenteen vaikutuksia kalojen käyttäytymiseen on tutkittu lähinnä käytännön kalastusteknisenä ongelmana, koska esimerkiksi troolin vedossa sekä aluksen että troolin aiheuttamien äänten on arveltu karkottavan saalista pyyntivälineitten ulottumattomiin. Tehdyissä tutkimuksissa onkin todettu, että kalaparvet väistävät lähestyvää kalastusalusta joko horisontaali- tai vertikaalisuunnassa, usein molemmilla tavoin. Misund (1990) tutki silliparvien käyttäytymistä ja havaitsi, että parvet yleensä reagoivat alukseen väistämällä sitä ensin horisontaalisuunnassa, mutta jos alus sitten kulki suoraan parven yli, kalat väistivät sitä myös uimalla syvemmälle. Väistäminen oli selvintä silloin, kun kalat olivat kutuvaelluksella. Ona & Godoe (1990) havaitsivat samanlaisen käyttäytymisilmiön seitillä (*Melanogrammus aeglefinus*), mutta totesivat, että ilmiö oli riippuvainen sekä kalojen esiintymissyvyydestä että vesialueen kokonaissyvyydestä. Väistämistä tapahtui syvyysalueella 0-200 metriä, mutta ei enää syvemmällä. Olsen et al. (1983) ovat todenneet, että sillillä ja turskalla väistämisreaktio heikkenee kalojen uintisyvyyden kasvaessa ja laivan kulkunopeuden pienetessä. Parvien käyttäytymismuutoksia on todettu myös makrillilla (*Scomber scombrus*) ja kilohaililla (*Clupea sprattus*) (Aglen & Misund 1990).

Tehdyt tutkimukset osoittavat, että laiva voi muuttaa kalojen käyttäytymistä väylän lähiympäristössä. Mikä tai mitkä liikenteen ominaisuudet sitten varsinaisesti näitä muutoksia saavat aikaan ei sen sijaan ole tiedossa. Ona & Toresen (1988) esittävät, että laivan potkurin aiheuttamat äänet ovat pääasiallinen syy siihen, miksi silliparvi väistää troolia vetävää alusta. Freon et al. (1990) tutkivat kokeellisesti laivan koneesta lähtevien äänien vaikutusta eräiden trooppisten kalalajien esiintymiseen. Kalojen tiheys parvessa sekä parven esiintymissyvyys määritettiin kaikuluotaamalla aluksesta, joka kulki joko koneen tai purjeen avulla. Laivan koneella ei kuitenkaan havaittu olevan vaikutusta kalojen tiheyteen parvessa ja erot syvyyssuuntaisessakin esiintymisessä olivat varsin pieniä.

On ilmeistä, että liikenteen vaikutukset ovat riippuvaisia monista eri tekijöistä. Laivan rakenteelliset ominaisuudet ja sen kulkunopeus, vesialueen syvyys-suhteet ja pohjan topografia lienevät näistä tärkeimpiä. Vaikutukset voivat olla myös erilaisia eri kalalajeilla johtuen lajien biologisista eroista. Jotta liikenteen vaikutuksia esimerkiksi eri lajien tuotannollisiin ominaisuuksiin (kasvu ja lisääntyminen) voitaisiin arvioida, olisi kalojen käyttäytymistä tutkittava kokeellisesti. Laivaliikenteen kalastovaikutuksia koskevan tutkimuksen yhteydessä (Rajasilta 1982) tällaista kokeellista työtä ei varsinaisesti tehty, mutta joitakin silmämääräisiä havaintoja tehtiin rantavyöhykkeen kalalajeista luonnonolosuhteissa (Rajasilta & Ranta-aho, julkaisematon aineisto). Ranta, jossa havainnot tehtiin, sijaitsi n. 300 m:n etäisyydellä laivaväylästä eteläisellä Airstolla, jossa oli voimassa 14 solmun nopeusrajoitus. Esimerkiksi kolmipiikki-koiraat, jotka vartioivat keskikesällä leväkasvillisuuden seassa eläviä poikasiaan, eivät näyttäneet reagoivan lähestyvään tai ohiajamaan autolauttaan millään tavoin. Vasta siinä vaiheessa, kun ensimmäiset aallot osuivat rantaan, kalat siirtyivät syvemmälle, mutta aallokon taas tasaannuttua ne palasivat alkuperäisille paikoilleen. Äänivaikutusta ei tässä tapauksessa siis laivalla näyttänyt olevan, ts. kalat eivät säikähtäneet melko kovaaäänistä alusta millään tavoin. Aallokkoon ne reagoivat samalla tavoin kuin luonnolliseen tuulen aikaansaamaan aallokkoonkin eli väistämällä niiden välitöntä vaikutusta.

Vaikka on oletettavissa, että eri kalalajit elintavoistaan riippuen käyttäytyvät eri tavoin häiriötilanteessa, on käyttäytymisessä myös tiettyjä samankaltaisuuksia. On esimerkiksi todennäköistä, että kaikki kalat tottuvat häiriöön, joka toistuu usein aiheuttamatta kuitenkaan niille vaaraa. Laivan tuottamat äänet voivat olla tyypillisesti tähän tapaan toimivia ärsykeitä. Siten ei ole perusteltua otaksua, että laivaväylän kohdalle muodostuisi pysyvästi alue, jolla kaloja ei olisi lainkaan. Vaikka kalat väistäisivätkin häiriön aiheuttajaa, ne todennäköisesti palaavat alkuperäiseen uintisyvyYTEensä ja -reittiinsä laivan kuljettua ohitse.

Liikenteen aiheuttamista hetkellisistä ympäristön muutoksista aallokko saattaa eniten vaikuttaa kalojen käyttäytymiseen, koska se muuttaa voimakkaasti kalojen elinolosuhteita. Srivastava et al. (1989) havaitsivat, että kirjolohen uintiaktiiviteetti ja sosiaaliset suhteet parvessa olivat riippuvaisia koealtaaseen tulevien aaltojen korkeudesta ja esiintymisfrekvenssistä. Aallokko vaikuttaakin ennen muuta kalojen energiankäyttöön. Aallokkoisessa kasvu-ympäristössä kalat joutuvat käyttämään enemmän hankkimaansa energiaa uimiseen kuin tyynessä vedessä elävät, mikä saattaa heijastua kasvuun ja lisääntymiseenkin. Kolmipiikkikoiraalla, joka usein joutuu siirtymään rantavedestä syvemmälle ja jättämään kehittymässä olevan mädin tai vastakuoriutuneet poikaset ilman vartiointia, voi lisääntymismenestys olla heikompi kuin niillä koiraila, joiden poikaset kehittyvät suojaisissa olosuhteissa.

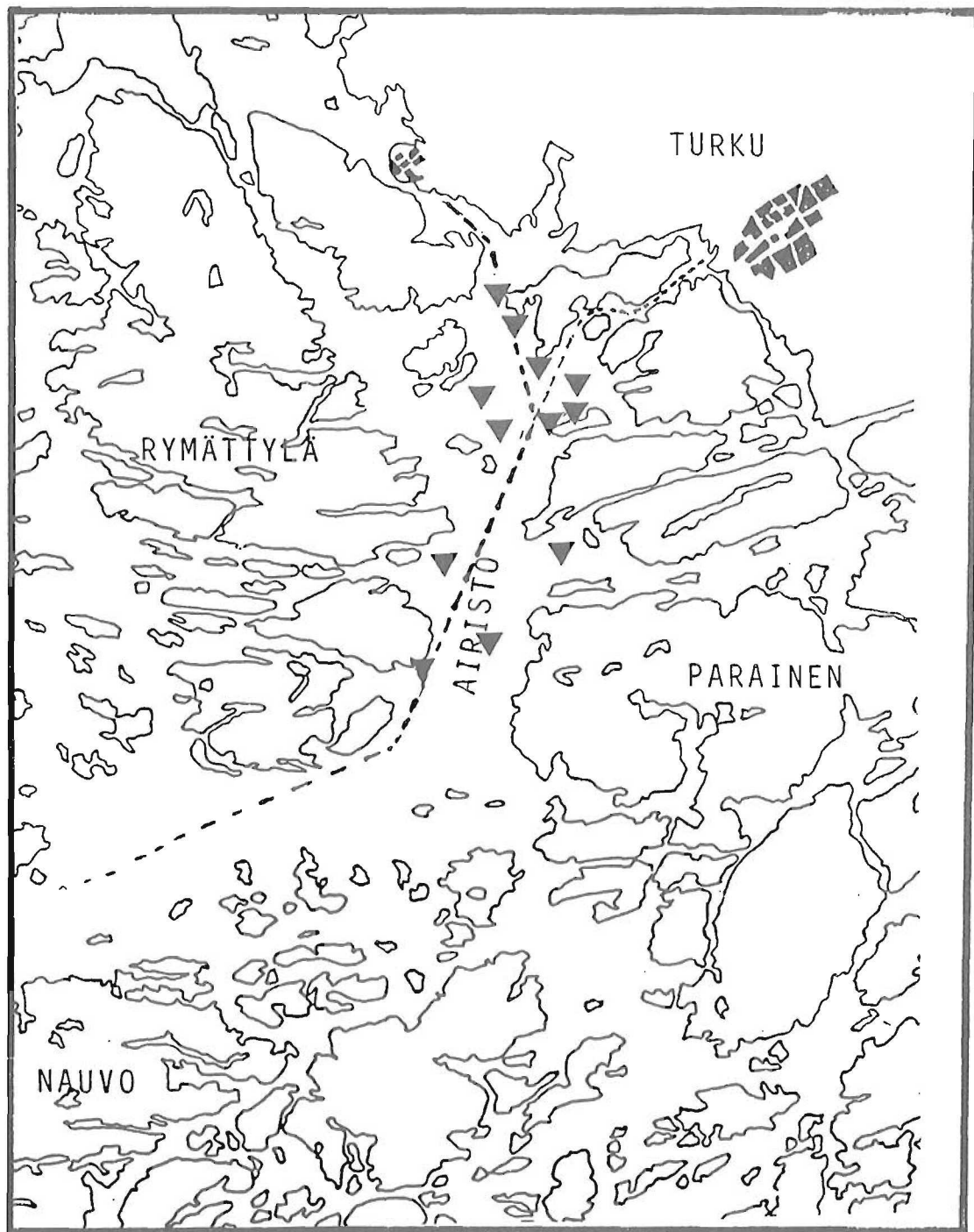
7.2.2.2 Vaikutukset kalojen lisääntymiseen ja poikastuotantoon

Säännöllinen laivaliikenne saattaa vaikuttaa kalakantoihin muuttamalla olosuhteita kalojen lisääntymisalueilla. Aallokon vaikutus kohdistuu voimakkaimmin vesistön mataliin osiin kuten rantavyöhykkeeseen ja matalikkoihin, jotka ovat tyypillisiä kalojen lisääntymispaikkoja.

Kutupaikkojen tuhoutumisesta voi olla seurauksena lajin yksilömäärien selvä pieneneminen alueella poikastuotannon vähetessä. Kalat voivat myös siirtyä muille lisääntymispaikoille sopivan kutualustan tms. puuttuessa. Kummassakin tapauksessa vaikutus voi tulla näkyviin saaliin vähentymisenä liikenteen vaikutusalueella, mutta seuraukset ovat vakavampia, jos laji on jo jostakin syystä uhanalainen ja sen kutupaikkoja on vähän jäljellä. Esimerkiksi meressä lisääntyvän siian (ns. karisiika) kutupaikat ovat voimakkaasti vähentyneet viime vuosikymmenten aikana Saaristomereillä, mistä syystä lajin luontainen lisääntyminen on jo jossakin määrin uhattuna. Laivaliikenne ei tätä muutosta ole todennäköisesti aiheuttanut, mutta liikenne on yksi riskitekijä, joka tulisi ottaa huomioon esimerkiksi uusia väyliä perustettaessa. Siika kutee muutaman metrin syvyydessä vedessä hiekansekaisilla pohjilla, joihin sekä aallokon että potkurivirtojen vaikutus kohdistuu hyvin voimakkaana. Hiekan sekaan laskettu mätä tuskin selviää elossa pohja-aineksen jatkuvasti liikkeessa ja kasaantuessa uudelleen.

Silakka on merialueella matalissa rantavesissä lisääntyvistä lajeista taloudellisesti merkittävin. Silakan kutupohjat sijaitsevat sisäsaaristossa pääasiassa 0-8 metrin syvyysvyöhykkeellä rannoilla, joilla pohja-aines yleensä on kiven, soran ja hiekan sekoitusta. Silakka suosii kasvillisuusvaltaisia pohja-alueita ja mätä yleensä onkin kiinnittynyt vesikasveihin (Oulasvirta et al. 1985, Rajasilta et al. 1989). Liejupohjan peittämiä pohjia silakka välttää eikä sen ole havaittu kutevan suojaisilla rannoilla, joilla pohjat ovat yleensä vesirajaan asti pehmeän sedimentin peitossa.

Esimerkiksi Turun edustan merialueella silakan kuturannat ovat enimmäkseen alttiina laivaliikenteelle, koska ne sijaitsevat Airiston altaan molemmilla laidoilla väylän kulkiessa altaan keskivaiheilla (Kuva 34). Laiva-aallokon on todettu tuhoavan silakan mätiä esimerkiksi silloin, kun mäti on laskettu irralliseen tai löyhästi kiinnittyneeseen kasvillisuuteen pohjalle ja aallokko huuhtoo tämän aineksen rannoille. Airistolta löytyy toisinaan suuriakin määriä kuivalle rannalle ajautunutta levämassaa, jonka seassa on runsaasti mätiä. Kehittymässä olevaa mätiä kuolee myös aallokon aiheuttaman voimakkaan ravistelun ja mekaanisen vaikutuksen kautta (Rajasilta 1982). Vuosittain tuhoutuvan mädin kokonaismäärää ei ole arvioitu, mutta se tuskin on kuitenkaan niin suuri, että sillä olisi vaikutusta silakkakantaan.



Kuva 34. Tunnetut silakan kutupaikat Turun edustan merialueella.

Kuten edellä todettiin, liikenteen vaikutukset voivat olla erilaisia kalalajista riippuen. Eloonsijain poikasten lukumäärä vaihtelee suuresti sen mukaan, millaiset lajin elintavat ovat ja ennen muuta millaisessa habitaatissa laji lisääntyy. Laivaliikenteen vaikutuksia koskevan tutkimuksen yhteydessä vertailtiin rantavyöhykkeessä yleisinä elävien kalalajien poikastuotantoa väylän vaikutusalueella ja vertailualueella (Rajasilta 1982). Tutkimuksessa todettiin, että esimerkiksi väylän vaikutusalueella lisääntyneellä kolmipiikillä oli hyvin vähän poikasia heinäkuussa, vaikka samoilla rannoilla oli lisääntyviä aikuisia tavattu kesäkuussa runsaasti (Taulukko 4). Vertailualueella poikas-tiheys sen sijaan oli suuri (> 3600 yks./100m²). Hietatokon poikastuotantoon ei liikenteellä näyttänyt olevan haitallisia vaikutuksia, koska väylärannoilla poikastihedetyt olivat selvästi suurempia kuin vertailualueella. Erot poikasmäärissä saattavat johtua elintapojen eroavuuksista. Kolmipiikki lisääntyy kasvillisuuden seassa rantavyöhykkeen matalassa osassa, johon aallokko kohdistuu voimakkaana ja mätä voi tuhoutua jo aallokon mekaanisen vaikutuksenkin takia. On myös mahdollista, että mätä tai poikaset ovat alttiina voimakkaalle predaatiolle, koska niitä vartioivat aikuiset kalat joutuvat tavan takaa poistumaan pesän läheisyydestä aallokkoa pakoon. Hietatokko sen sijaan laskee mätimunansa pohjalle kivien yms. alle, missä ne ovat paremmassa suojassa.

Taulukko 4. Eräiden kalalajien aikuisten (A) ja poikasten (P) keskimääräinen tiheys rannoilla (yks./100m²) väylän vaikutusalueella ja vertailualueella (Rajasilta 1982).

Laji	Väyläalue		Vertailualue	
	A	P	A	P
Kolmipiikki	193	9	87	3676
Kymmenpiikki	17	0	64	44
Hietatokko	5	4960	42	955

7.2.3 Kalojen elinympäristössä tapahtuvat muutokset

Kalojen elinympäristön muuttuminen laivaliikenteen vaikutusalueella on voimakkainta rantavyöhykkeessä, johon laivojen aallokko kohdistuu. Rantavyöhyke on kalatuotannon kannalta hyvin tärkeä monien taloudellisesti tärkeiden kalalajien lisääntymis- ja poikastuotantoalueena. Se on lisäksi vesistön tuottavinta aluetta, jonka runsasta ravintoeläimistöä monet kalalajit käyttävät hyväkseen.

Aallokko aiheuttaa eroosiota ja pohja-aineksen liikkeessä pohjasta irtaantuva hienojakoinen aines samentaa veden ja heikentää näkösyvyyttä. Veden samentuminen voi olla lähes pysyvää, jos liikennetiheys on suuri. Veden samentumisesta on seurauksena esimerkiksi se, että kalojen saalistusolot muuttuvat. Useimmat kalat saalistavat näköaistin avulla, mutta sameassa vedessä saaliin havaitseminen ja kiinniotto vaikeutuvat. Tämä saattaa vaikuttaa poikasten kasvuun ja eloonsijaimiseenkin, koska varhaisessa poikasvaiheessa sopivan ravinnon puute nopeasti johtaa poikasen menehtymiseen.

Rönnerbergin (1975, 1981) tutkimusten mukaan liikenteen synnyttämän aallokon seurauksena vesikasvillisuuden määrä rantavyöhykkeessä vähenee ja kasvivyhdyskuntien rakenne muuttuu. Säännöllisen laiva-aallokon on todettu vähentävän myös monien selkärangattomien eläinten määrää rantavyöhykkeessä (Fagerholm 1975). Kaloille kasvillisuuden väheneminen merkitsee suojapaikkojen ja kutualustojen vähenemistä, mutta elinympäristön köyhtymistä lisää vielä ravintoeläintenkin väheneminen.

Rajasilta (1982) on selvittänyt liikenteen vaikutuksia rantavyöhykkeen kalaston lajimäärään ja lajien yksilötiheyksiin Turun edustan merialueella. Tutkimuksessa todettiin, että lajien lukumäärä oli väyläalueella sama kuin vertailualueellakin, mutta yksilömäärät selvästi alhaisempia. Tiheyksien pieneneminen johtui yleisten ja runsaslukuisena esiintyvien lajien kuten kolmipiikki, hietatokko ja kymmenpiikki vähenemisestä.

Vaikka näillä rantavyöhykkeessä elävillä kalalajeilla ei olekaan taloudellista merkitystä suoranaisesti, ovat monet tärkeitä petokalojen, esimerkiksi lohen, taimenen, hauen ja ahvenen ravintona. Saalislajien väheneminen voi siten vaikuttaa taloudellisesti merkittävien kalalajien esiintymiseen väylän vaikutusalueella.

7.2.4 Laivaliikenteen vaikutukset kalastukseen ja kalankasvatukseen

Laivaliikenteen vaikutukset kalastukseen riippuvat paitsi liikenteen suorasta vaikutuksesta kalastustapahtumaan ja -ympäristöön myös huomattavalta osin kalakantojen runsauden ja rakenteen mahdollisesta muuttumisesta väylien varrella. Suoraan kalastustapahtumaan tai meressä verkkoaltaissa tapahtuvaan ruokakalan kasvatukseen alusliikenteen vaikutukset voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- A. Aaltojen välitön vaikutus pyydyksiin ja kasvatusaltaisiin.
- B. Aallokon vaikutus kalastustapahtumaan tai kalankasvatukseen pyydysten kokemisen ja laskemisen tai verkkoaltailla tapahtuvan kalojen ruokinnan, teurastuksen ja huoltotoimenpiteiden aikana.
- C. Talvikalastuksen ja liikkumisen vaikeutuminen jääolosuhteiden muuttuessa.
- D. Väylien ja niiden lähialueiden menetys kalastusalueena.
- E. Kalatiheyden muuttuminen lisääntymisen pienentymisen ja kalojen karkottumisen seurauksena.

7.2.4.1 Laivaliikenteen vaikutus pyydyksiin ja kasvatusaltaisiin

Laivojen nostattamat aallot asettavat pyydyksien ja kalankasvatuksessa käytettävien verkkoaltaiden kiinnitykset lujille ja edellyttävät väylien läheisyydessä erikoisvahvoja kiinnitysköysiä ja ankkurointia. Myös havasmateriaalien kestävyys joutuu normaalia kovemmalle. Rysien ja muiden kiinteiden pyydysten paikallaan pysyminen aallokossa riippuu paitsi aallokon voimakkuudesta myös aaltoja vastaanottavan pinnan suuruudesta (Ström 1977). Rajasillan (1982) mukaan aallokon mukana ajelehtivien irtainten

levien ja muun kasvillisuuden aiheuttama pyydysten likaantuminen on suurinta väylien lähistöllä. Tällä taas on vaikutuksensa pyydysten kokemaan rasitukseen ja kalastavuuteen. Havakseen tarttunut aines lisää aaltoja ja vastaanottavan pinnan suuruutta ja samalla pyydykseen kohdistuvaa rasitusta. Pyydysten likaantumisen on todettu olevan voimakkainta loppukesällä ja syksyllä vesikasvillisuuden ollessa runsaimmillaan. Rajasillan (1982) Saaristomerellä suoritetuissa testeissä esimerkiksi vielä 300-500 metrin etäisyydellä väylästä oleviin silakkaverkkoihin todettiin kertyvän huomattavia määriä ylimääräistä ainesta. Pyydyksiin kertyi vuorokaudessa toi 100 g kasvimassaa neliometriä kohden. Talvella ja keväällä sekä alueilla, joilla on voimassa nopeusrajoitus, pyydysten likaantuminen jäi näissä tutkimuksissa huomattavasti pienemmäksi. Pyydysten ja verkkoaltaiden likaantuminen lisää kalastajien ja kalankasvattajan työmäärää, kuluttaa havasta ja pienentää pyydysten kalastavuutta.

7.2.4.2 Aallokon vaikutus kalastustapahtumaan

Väylän lähellä pyydysten kokeminen on vaikeaa, ellei peräti mahdotonta laivojen kulkuajankohtina. Tämän seikan merkitys käytännössä ei kuitenkaan liene suuri, sillä laivaliikenne ei ole jatkuvaa ja kalastajat voivat kokea pyydyksensä muina ajankohtina. Kalastajat kokevat tämän kuitenkin jossain määrin vapautta rajoittavana seikkana, ja käytännössä saattaa tulla ongelmia varsinkin pitkää läsnäoloaikaa vaativien laitteiden, kuten silakkarysien ja kalankasvatusaltaiden parissa.

7.2.4.3 Kalastusalueiden menetykset

Laivat kulkevat vuoden läpi ja pitävät väylät sulina. Tästä johtuen kalavesille muodostuu kulkuesteitä ja väylien takana olevat verkko-, koukku- ja nuotta-apajapaikat jäävät talvella käyttämättä. Sama koskee alueita, joilla jään muodostuminen heikkenee aallokon estäessä jäätymisen. Tämänkaltaisen haitta on suurimmillaan syystalvella. Avoveden aikana aallokko ja laivojen imuvaikutus estävät väylän läheisten vesialueiden käytön kalastuksessa. Tutkimuksia tai arvioita alueiden laajuudesta Suomen rannikkovesillä ei ole tehty. Alueen koko riippune laivojen nopeudesta ja saariston luonteesta.

7.2.4.4 Aallokon ja melun vaikutukset kalojen määrään

Kalastuksessa saatava saalis on suhteessa kalakannan tiheyteen (esim. Bannerot & Austin 1983). Siten laivaliikenteen aiheuttamat muutokset kalojen lisääntymisessä tai kalojen mahdollinen karkottuminen väylien läheisyydestä vaikuttavat suoraan kalastettavissa olevien kalojen määrään ja siten kalastuksen potentiaaliseen tuottoon. Kalojen määrässä tapahtuu ilmeisesti suurtakin lyhytkestoista vaihtelua, sillä useissa tutkimuksissa on kalojen todettu väistävän lähestyvää alusta (Ona & Thoresen 1988, Misund 1990, Ona & Godoe 1990). Väistäminen ei kuitenkaan vaikuta oleellisesti kalastettavissa olevien kalojen määrään ja saaliisiin, sillä voidaan olettaa kalojen palaavan takaisin alueen rauhoituttua. Rajasilta (1982) ei havainnut laivaliikenteen vaikutuksia kalansaaliisiin johtuen tutkimuksessa mukana olleiden väylä- ja vertailualueiden luontaisista eroista.

Karkottumisen pysyvämpiä vaikutuksia saaliissa ilmenee, jos lisääntymisen edellytykset muuttuvat. On yleensä vaikea havaita pieniä muutoksia lisääntymisessä (Vaughan & VanWinkle 1982). Vaikeus korostuu tilanteessa, jossa kaloilla on käytettävissä useita korvaavia kutu- ja poikastuotantoalueita. Laivojen aiheuttamien aaltojen on todettu vaikuttavan suoraan kutualueisiin, joko muuttamalla lisääntymisympäristöä tai lisäämällä mädin ja poikasten kuolevuutta (Rönnberg 1981, Rajasilta 1982). Kalansaaliisiin näitä vaikutuksia ei kuitenkaan ole voitu yhdistää johtuen saaliiden luonnostaankin suurista kausivaihteluista. Saaristomeren alueella useimmilla kalalajeilla on runsaasti mahdollisia kutualueita. Yhden tuhoutuminen ei vaikuta paljonkaan laajemmalla vesialueella tapahtuvan pyynnin tuloksiin. Tilanne on toisenlainen, mikäli kalalaji lisääntyy vain suppeilla alueilla, jotka sattuvat jäämään väylän vaikutuspiiriin.

7.3 Vedenalaisen melun vaikutukset kalastoon

Pekka Sundell

Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus

7.3.1 Johdanto

Vedenalainen maailma ei ole hiljainen, kuten helposti voidaan luulla. Veden alla, kuten myös maalla, on paljon ns. luonnollista taustamelua (tuuli, aallokko, sade, jään aiheuttamat äänet jne.), joka on osa kalojen luontaista elinympäristöä. Näihin ääniin kalat ovat sopeutuneet. Tämän luontaisen melun lisäksi veden alla esiintyy myös ihmistoiminnan aiheuttamaa melua. Merkittävän osan tästä melusta aiheuttavat erilaiset alukset.

Elinympäristönä vesi suosii äänten käyttöä. Ääni liikkuu vedessä nopeasti ja kauemmaksi kuin ilmassa. Äänten ja niiden merkityksen voi siksi olettaa olevan merkittävä tekijä vesiympäristössä. Merinisäkkäiden osalta tiedetään niiden kommunikoivan keskenään hyvinkin pitkien, jopa satojen kilometrien, matkojen päästä. Ne käyttävät ääniä paitsi yhteydenpitoon myös mm. saaliiden paikantamiseen ja jääoloissa sulien alueiden löytämiseen. Kalojen äänet poikkeavat merkittävästi merinisäkkäiden äänistä. Ne ovat paljon hiljaisempia ja äänten taajuusspektri on kapeampi. Kalojen käyttämät äänet ovat pääosin matalia, mikä viittaa siihen, että ne on tarkoitettu lähinnä kommunikointiin. Merinisäkkäilläkin kommunikointiäänet ovat yleensä melko matalia. Saaliiden havaitsemiseen ja paikantamiseen tarkoitettut äänet se sijaan ovat yleensä korkeita, jopa ultraääniä (Richardson ym. 1983). Tällaisia ääniä ei kaloilla ole havaittu.

Voidaan olettaa, että äänet ovat kaloilla merkittävä ympäristön havainnointikeino. Tässä luvussa on tarkoitus antaa kirjallisuuteen pohjautuva kuva siitä, mihin kalat ääniä käyttävät, millainen on kalojen kuulokyky ja miten taustamelun taajuusspektrissä ja voimakkuudessa tapahtuvat muutokset vaikuttavat kaloihin.

7.3.2 Kalojen äänet ja niiden merkitys

Yli 50 kalasuvun on havaittu tuottavan ääniä (Myrberg 1981). Jotkut näistä tuottavat ääniä vain vaaran uhatessa (Fish 1954, Fish ym. 1952), mutta monet tuottavat ääniä myös tietyissä sosiaalisissa yhteyksissä. Tilanteet, joissa ääniä käytetään, saattavat vaihdella huomattavasti eri lajien välillä (Fine ym. 1977, Myrberg 1981).

Ääniä käyttäviä lajeja on löydetty sekä makeassa vedessä että merissä elävistä kalasuvuista (mm. *Anabatidae*, *Batrachoididae*, *Blenniidae*, *Centrarchidae*, *Characidae*, *Cyprinidae*, *Cichlidae*, *Gadidae*, *Gobiidae*, *Pomacentridae*) (Hawkins & Myrberg 1983). Monilla lajeilla äänet ovat osa lisääntymiseen liittyvää käyttäytymistä. Koiraat ovat yleensä naaraita aktiivisempia äänten käyttäjiä. Äänten käyttöön liittyy usein aggressiivinen käyttäytyminen varsinkin lisääntymisaikana (reviirien puolustaminen, kilpailu naaraista). Monet kalalajit käyttävät lisäksi ääniä ympäri vuoden puolustaessaan reviiriään. Äänten käyttö yhdessä aggressiivisen käyttäytymisen kanssa on huomattavasti tehokkaampi puolustuskeino kuin kumpikaan näistä keinoista yksinään (Valinski & Rigley 1981).

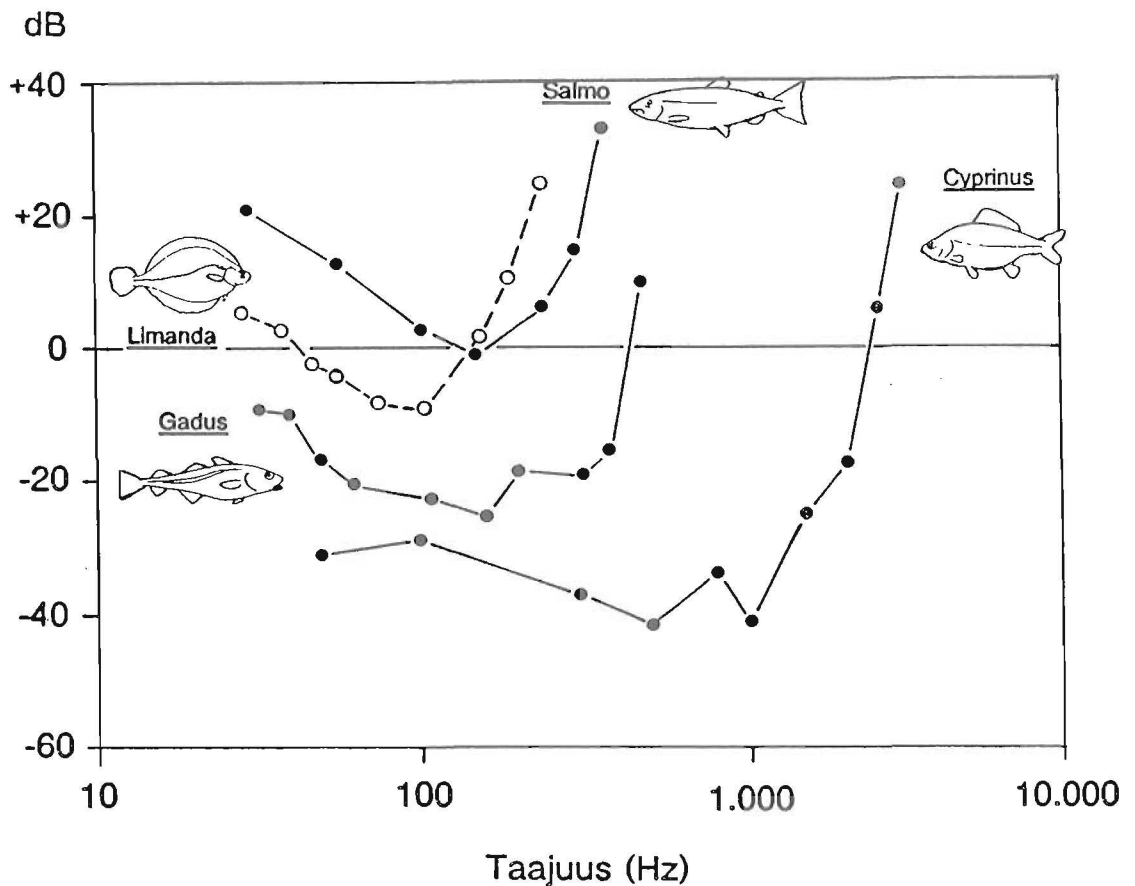
Useimmat kalojen äänet koostuvat pääosin matalista taajuuksista (alle 1000 Hz) ja sen mukaisesti kalat itse ovat herkimpiä juuri näille taajuuksille. Kun ääniä tuottavat useat toisilleen läheistä sukua olevat lajit, merkittävimmät erot eivät ole äänten taajuusspekt-rissä vaan paremminkin äänen jaksottaisessa rakenteessa eli tavassa, miten äänet on rakennettu samankaltaisista pulsseista. Esimerkiksi koljalla (*Melanogrammus aeglefinus* (L.)) äänten jaksoittainen rakenne riippuu siitä yhteydestä, missä äänet tuotetaan. Näyttää siis siltä, että äänet tunnistetaan nimenomaan siitä, miten äänipulssit on jaksotettu (Hawkins 1986).

Turskakaloista ääniä tuottavat vain suurikokoiset lajit. Pienikokoiset ovat yleensä hiljaisia mahdollisesti ääntelyn aiheuttaman predaatoriskin lisääntymisen takia. Parvikaloista on tutkittu vienansillin (*Clupea harengus pallasii*) ääntelyä. Ruokailu- ja hydrodynaamisten äänien lisäksi se tuottaa piipittäviä ja viheltäviä ääniä. Piipitykset koostuvat yhden tai useamman 1800-3200 Hz:n taajuisen pulssin purkauksista. Vihellykset ovat kapea-alaisia, yhtämittaisia, 1600-2000 Hz:n taajuisia ääniä. Vankeudessa sillit eivät tuottaneet näitä ääniä (Schwarz ym. 1984). Nämä sillien tuottamat äänet ovat kaloille melko korkeita. Vain harvat kalalajit pystyvät aistimaan näin korkeita ääniä. Tämä saattaa käytännössä tarkoittaa sitä, että myöskään predaattorit eivät kykene aistimaan näitä ääniä, jolloin ääntely ei lisää predaatoriskiä.

7.3.3 Kalojen kuulokyky

Se, että kaloille on kehittynyt monimutkainen kuulojärjestelmä viittaa siihen, että kalojen akustinen ympäristö sisältää informaatiota, joka vaikuttaa niiden eloonjäämiseen. Akustiset ärsykkeet saattavat mm. vähentää predaatoriskiä, auttaa saaliin löytämisessä ja kalan oman sijainnin määrittelyssä (Steinberg ym. 1965, Moulton 1960, Tavolga 1981). Tämän informaation saaminen on kaloille tärkeää. Siksi sellaisetkin kalat, jotka eivät itse ääntelee, pystyvät kuitenkin aistimaan ympäristön ääniä kuulokykynsä puitteissa. On olemassa kalalajeja joiden kuulo on erittäin hyvä, vaikka ne eivät itse tuotakaan ääniä (Schwarz 1985).

Kalojen kuulokyky vaihtelee huomattavasti lajeittain. Kampeloilla (Chapman & Sand 1974) ja Atlantin lohella (Hawkins & Johnstone 1978) kuulo on melko huono ja ne kuulevat äänet vain melko kapealla taajuusalueella. Niiden puhtaiden äänien kuulokynnys nousee jyrkästi, kun äänen taajuus nousee 100-160 Hz:n yläpuolelle (kuva 35). Monilla hyvin erilaisissa elinympäristöissä elävillä kalalajeilla kuulon herkkyys on huono ja havaittujen äänten taajuusalue kapea. Tällaisia lajeja ovat mm. mustatokko (Dijkstra 1952), ahven (Wolff 1967), kiiski ja kuha (Wolff 1968). Toisen ääripään muodostavat ns. kuulospesialistit. Niiden kuulo on hyvä ja ne pystyvät aistimaan ääniä hyvin laajalla taajuusalueella, aina useisiin kilohertzeihin saakka. Tällaisia kaloja ovat mm. monet särki- (*Cyprinidae*) ja monnikalat (*Siluriformes*) (Fay 1978, Fay & Popper 1980, Popper 1972). Näiden kahden ääripään väliin jää monia kalalajeja, mm. turska (Chapman & Hawkins 1973). Kalojen kuulon taajuusalue, jopa spesialisteillakin, on paljon kapeampi kuin monilla maalla elävillä selkärangkaisilla. Useimmat kalat kuulevat kuitenkin yleensä hyvin kapealla kuuloalueellaan.



Kuva 35. Hietakampelan *Limanda limanda* (Chapman & Sand 1973), lohen *Salmo salar* (Hawkins & Johnstone 1976), turskan *Gadus morhua* (Chapman & Hawkins 1973) ja karpin *Cyprinus carpio* (Popper 1972) kuulokäyrät.

Parvikaloista on tutkittu etenkin eri sillilajien kuuloa. Akvaariokokeissa kolme sillilajia havaitsivat äänet, joiden taajuudet vaihtelivat 20:stä 3000-5000 Hz:iin. 20-125 Hz:n taajuus oli äänen havaitsemisen kannalta optimaalisin meluisassa ympäristössä. Näillä taajuuksilla signaali havaittiin, kun sen voimakkuus ylitti taustamelun tason 15-20

dB:llä. Korkeammilla taajuuksilla havaitsemiskynnys lisääntyi keskimäärin 6 dB/oktaavi (Sorokin ym. 1988). Täpläsilli (*Alosa fallax* (La.)) havaitsi akustisen signaalin luontaisen ja tuotetun melutason vaihdellessa huomattavasti, kun signaalin voimakkuus ylitti taustamelun voimakkuuden 16-21 dB:llä taustamelun laadusta riippumatta (Sorokin 1989). Kahdella sillilajilla tehdyissä akvaariokokeissa *Clupanodon punctatus* pystyi paikallistamaan matalia taajuuksia (80-320 Hz) lähettävän äänilähteen 1.4 metrin etäisyydeltä ja *Clupea harengus pallasii* 20-160 Hz:n taajuuksilla toimivan äänilähteen 6.5 metrin päästä. Korkeammilla taajuuksilla kummankaan lajin ei havaittu aistivan äänen tulosuuntaa (Sorokin 1988). Sillilajien lisäksi myös monet muut kalalajit, mm. kampelat (Sorokin 1986), pystyvät havaitsemaan äänen tulosuunnan ja äänilähteen etäisyyden (Hawkins 1986).

Hawkins ja Chapman (1975) ovat osoittaneet, että muutokset meressä olevan taustamelun tasossa voivat huomattavasti vaikuttaa turskan kuulokykyyn. Esimerkiksi muutos tuulessa tai sääoloissa voi muuttaa sen kuulokynnystä herkimmillä taajuuksilla (noin 160 Hz). Taustamelu peittää heikot, varsinkin sitä lähellä olevilla taajuuksilla tuotetut, äänet ja estää niiden havaitsemisen.

Kun taustamelu vaikuttaa kalan kuuloelimiin, ei kuulon herkkyyden lisääntymisestä ole hyötyä. Sen sijaan sille on eduksi pystyä erottelemaan kiinnostavat äänet taustamelun keskeltä. Kalojen kuultavissa olevan eri taajuisen taustamelun peittokyky eli se missä määrin taustamelu estää varsinaisten äänisignaalien kuulemisen, ei ole kaikilla taajuuksilla sama. Esimerkiksi turskalla on havaittu, että tietyn taajuisen taustamelun peittokyky laskee jyrkästi tämän taajuuden molemmilla puolilla (Buerkle 1969, Hawkins & Chapman 1975). Siihen, missä määrin taustamelu vaikuttaa kalojen kykyyn kuulla tietty äänisignaali, vaikuttaa siis paitsi taustamelun voimakkuus myös sen taajuus. Esimerkiksi turska pystyy suodattamaan esiin taustamelun taajuuksista poikkeavat äänet, vaikka taustamelun aiheuttama peittovaikutus olisi täydellinen sitä lähellä olevilla taajuuksilla. Myös kultakalalla ja Atlantin lohella on havaittu olevan vastaavanlainen äänen suodatuskyky (Tavolga 1974, Fay ym. 1978, Hawkins & Johnstone 1978).

Pohjasta ja pinnasta heijastuvat kaiut vaikeuttavat äänipulssien havaitsemista ja tunnistamista. Suurimmillaan ongelma on matalilla, kovapohjaisilla alueilla. Ongelma on selvä myös silloin, kun jokin akustinen este (tiheä kalaparvi, kivi jne.) estää suoran yhteyden äänilähteen ja vastaanottajan välillä. Nämä tekijät saattavat selittää sen, miksi akustinen vuorovaikutus kaloilla usein tapahtuu vain melko lyhyillä etäisyyksillä. Äänen kaikujen häiritsevä vaikutus saattaa olla erityisen merkittävä silloin, kun kyseessä on äänilähteen etäisyyden akustinen arviointi. Tiedetään, että tietyt suurikokoiset predaattorit (mm. hait) pystyvät havaitsemaan saalislajien äänisignaalit useiden satojen metrien päästä (Hawkins 1986).

Kalojen kuulokyky ja samalla reagointi ääniärsykkeisiin kehittyy niille jo melko varhain. Esimerkiksi sillin 10-12 mm:n pituiset poikaset eivät vielä reagoineet akustisiin ärsykkeisiin, kun 22-36 mm:n pituiset poikaset jo reagoivat niihin. Sillit kykenivät aistimaan ääniärsykkeen tulosuunnan ja reagoimaan sen mukaisesti vasta sen jälkeen, kun varsinainen kylkiviiva ja sen yhteys muihin kuuloelimiin oli kehittynyt (Blaxter ym. 1985a).

7.3.4 Taustamelun lisääntymisen vaikutus kalojen käyttäytymiseen ja kommunikointiin

Akustinen ympäristö on oleellinen osa kalan elinympäristöä. Samoin kuin muussakin ympäristössä, myös akustisessa ympäristössä tapahtuvat muutokset vaikuttavat kaloihin ja niiden käyttäytymiseen. Luonnollisen taustamelun lisäksi veden alla esiintyy nykyisin ihmistoiminnan aiheuttamaa melua. Taustamelun muutosten vaikutuksia kalojen käyttäytymiseen on tutkittu jonkin verran. Yhtään tutkimusta taustamelun lisääntymisen vaikutuksista populaatiotasolla ei tässä yhteydessä suoritetun kirjallisuushaun yhteydessä kuitenkaan löytynyt.

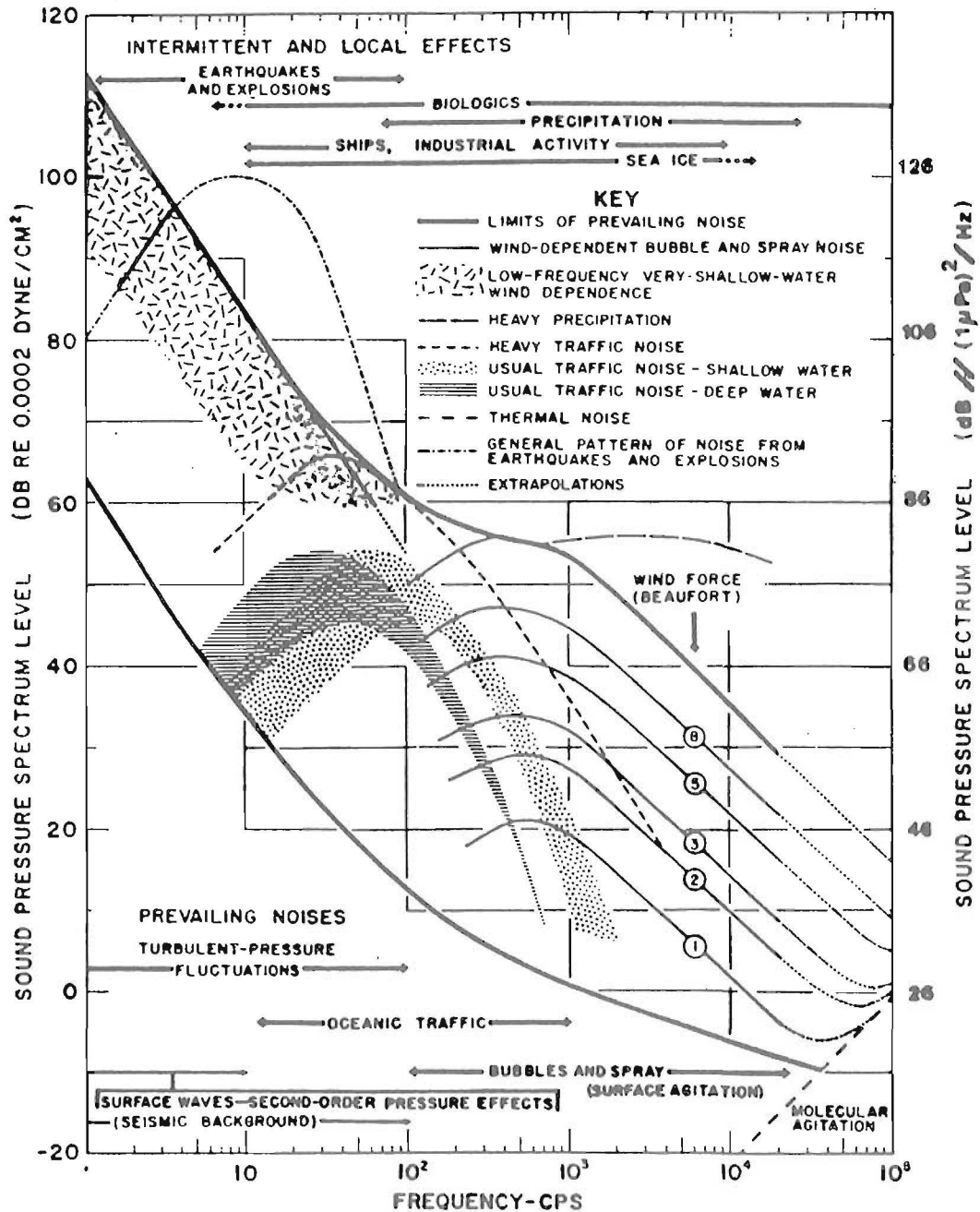
Eri sillilajit ovat olleet yksi keskeinen tutkimuskohde tutkittaessa erilaisten häiriöäänten vaikutuksia kaloihin. Schwarz ym. (1984) tutkivat erilaisten kenttäoloissa nauhoitettujen luonnollisten ja syntetisaattorilla tuotettujen keinotekoisten äänten vaikutuksia vienansillin (*Clupea harengus pallasii*) käyttäytymiseen. Keinotekoisten äänten avulla selvitettiin erilaisten äänen voimakkuuden, taajuuden ja jaksoittaisuuden yhdistelmien vaikutuksia. Silli ei reagoanut näkyvästi mihinkään nauhoitettuihin luonnollisiin ääniin. Negatiivisia reaktioita havaittiin kolmessa tapauksessa. Vakionopeudella lähestyvän suuren aluksen äänet aiheuttivat kaloilla karkottumisreaktion. Pienten alusten kohdalla tämä reaktio tapahtui vain lähestyttäessä kiihtyvällä nopeudella. Vastaavan reaktion aiheuttivat lisäksi myös 11 syntetisaattorilla tuotettua ääntä. Keinotekoisten äänten kohdalla merkittävä vaikutus kalojen reagointiin oli äänen voimakkuuden äkillisellä nousulla. Se aiheutti karkottavan vaikutuksen lisäksi myös pelästymisreaktioita.

Toisessa tutkimuksessa silli altistettiin lyhyille, äkillisille ääniärsykeille. Ne saivat sillit tekemään nopeita pelästymisliikkeitä. Kaikki yksilöt eivät kuitenkaan aina reagoineet ääniin. Niihin reagoivien kalojen osuus oli pienempi pimeässä kuin valossa. Pakoliikkeiden suunta oli kuitenkin sama (poispäin äänilähteestä) sekä pimeässä, että valossa. Tämä viittaa siihen, että visuaalisilla ärsykeillä ei ollut vaikutusta reaktioihin (Blaxter ym. 1987). Silli osoitti luonteenomaisia pelästymisreaktioita myös silloin, kun ne altistettiin värähtelevälle ääniärsykkeelle, joka lähetettiin niiden altaan seinässä olevan väliseinän kautta. Reagointikynnysmittaukset, jotka tehtiin 2.8-17 cm pituisilla kaloilla ja 70-200 Hz:n taajuuksilla osoittivat, että reaktiot aiheuttivat 2-18 Pa:n paineaallot, joita ääni aiheutti. Herkimpiä olivat 8-11 cm:n pituiset kalat. 12-13 cm:n pituiset kalat reagoivat myös altaan päälle ripustetusta kovaäänisestä lähetettyihin ääniin. Keskimääräinen reagointikynnys oli tällöin 5 Pa (Blaxter ym. 1981).

Sillit osoittivat voimakasta halua välttää jatkuvasti värähtelevää äänilähdettä pimeässä. Mitään viitteitä tottumisesta ääneen ei havaittu. Kun ne lähestyivät äänilähdettä, ne tavallisesti reagoivat, kun äänipaine saavutti 10-20 Pa:n rajan. Äänen voimakkuus oli 70 dB kuulokynnyksen yläpuolella. Silli näyttää pystyvän sopeuttamaan pakenemis-käyttäytymisensä ärsykkeen voimakkuuden mukaan (Blaxter ym. 1985b).

Laivaliikenteen aiheuttamat äänet ovat merkittävä osa kalojen akustista ympäristöä monilla alueilla. Liikkuva alus lähettää ääniä joka suuntaan. Potkuri on yleensä suurin melun aiheuttaja. Tämän jälkeen tulevat moottorin ääni ja erilaiset resonanssiäänet. Potkurin äänet ovat erityisen voimakkaita kiihdytettäessä vauhtia, käännettäessä ja peruutettaessa. Mitä suuremmasta aluksesta on kysymys, sitä alhaisempia sen tuottamat äänet ovat taajuudeltaan. Kaikkiaan laivojen aiheuttama melu koostuu 25-15000 Hz:n taajuuksista. Suurin osa äänienergiasta on kuitenkin 25 ja 5000 Hz:n välillä, erityisesti alle 1000 Hz:n taajuuksilla. Alle 1000 Hz:n äänet kulkevat vedessä erityisen hyvin, jolloin ne vaikuttavat kaloihin jo melko kaukaa (Schwarz 1985).

Useimmat kalat aistivat parhaiten juuri matalia, alle 1000 Hz:n ääniä. Monilla kalalajeilla paras kuuloalue on 100 ja 300 Hz:n välillä. Myös laivaliikenteen häiriövaikutus on suurimmillaan tällä taajuusalueella (kuva 36). Häiriövaikutus on sitä suurempi, mitä suuremmilla aluksilla liikennöidään ja mitä vilkkaampaa liikenne on.



Kuva 36. Ihmistoiminnan akustisten äänilähteiden vaikutus valtamerille tyypillisen taustamelun spektriin (Wenz 1962).

Shiskova (1958) ja Chapman (1964) havaitsivat kalastusalusten äänien aiheuttavan kalojen karkottumista. Karkottumista saattaa tapahtua 75-100 metrin etäisyydellä aluksesta (Freytag 1964, Olsen 1970, 1981). Schwarzin ja Greerin (1984) mukaan äänet alkavat vaikuttaa kalaparven käyttäytymiseen sitä kauempaa, mitä suuremmasta aluksesta on kyse. Se, että suurten alusten äänet karkottavat kaloja pienten alusten

ääniä tehokkaammin viittaa siihen, että mitä matalampi äänen pääasiallinen taajuus on, sitä voimakkaampi ärsyke se on. Mitä suurempi alus on, sitä matalampia ääniä se tuottaa. Muutokset äänen taajuudessa ovat luultavasti merkittävämpi karkottava tekijä kuin äänen maksimaalinen melutaso. Siksi alusten aiheuttaman melun kaloja karkottava vaikutus onkin suurimmillaan kiihdytettäessä, jarrutettaessa ja käännytettäessä. Nopeat muutokset lisäävät melun karkottavaa vaikutusta (Schwarz 1985).

Vaikka asiasta ei olekaan varsinaista tieteellistä näyttöä, useat alan asiantuntijat (Moulton & Backus 1955, Hering 1968, Chapman 1975, Jehl ym. 1980) ovat sitä mieltä, että useimmat kalat tottuvat nopeasti melko koviinkin keinotekoisiiin ääniärsykeisiin, jollei niihin ei liity haju- tai näköärsykettä. Ärsyke jätetään pian huomiotta, jollei siitä koeta saatavan hyötyä eikä aiheuttavan haittaa.

Laivojen äänet peittävät kuuluvista kalojen omat äänet ja muut tärkeät signaalit, mikä vaikeuttaa yksilöiden välistä kommunikointia ja ympäristön akustista havainnointia. Parvikalojen osalta on esitetty, että sekä uintiliikkeiden synnyttämällä ns. hydroakustisilla että kalojen aktiivisesti tuottamilla äänillä on huonoissa näkyvyyssoloissa huomattava merkitys parven koossa pysymisen kannalta. Mikäli näin on, saattaa yksilöiden välisen ääniyhteyden katkeaminen aiheuttaa pimeässä parvien hajoamista. Voidaan lisäksi kysyä, miten voimakas meluhäiriö vaikuttaa eri kalalajien viretilaan esimerkiksi kutuaikana. Ishioka ym. (1986) havaitsivat 200 Hz:n taajuuksien melko voimakkaiden äänten aiheuttavan häiriöitä pilkkupagellin (*Pagrus major* Temminck et Schlegel) ruokailuaktiivisuudessa.

Yhteenvedona voidaan todeta, että vesiliikenteen aiheuttama vedenalainen melu vaikuttaa kaloihin monella tavalla. Lajikohtaiset erot voivat olla suuria. Sitä, mikä on näiden akustisten häiriöiden merkitys koko kalapopulaation kannalta, on kuitenkin mahdotonta arvioida.

8 ALUSLIIKENTEEN VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖN MORFOLOGIAAN

Olli Madekivi

Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

8.1 Yleistä

Kookkaan aluksen syrjäyttämän vesimassan on kiistatta todettu aiheuttavan herkillä rannoilla muutoksia, jotka usein ilmenevät eroosiona. Monesti on kysymys pienehköistä esteettisistä muutoksista, mutta toisinaan eroosio aiheuttaa paitsi haittoja rantavyöhykkeen ekosysteemille, myös muutoksia rannan stabiliteetissa.

Eroosiohaitat on koettu viime aikoina erityisen merkittävinä Tukholmaan vievien laivaväylien varsilla, mutta myös Turun edustalla on jo pitkään todettu laivaliikenteen aiheuttavan mm. rantojen sortumista.

Erosion lisäksi tapahtuu alusten virtausten aiheuttamana paikoitellen runsastakin pohjasedimenttien kulkeutumista, mikä saattaa vaikuttaa mm. kasvien elinolosuhteisiin ja kalojen poikastuotantoon.

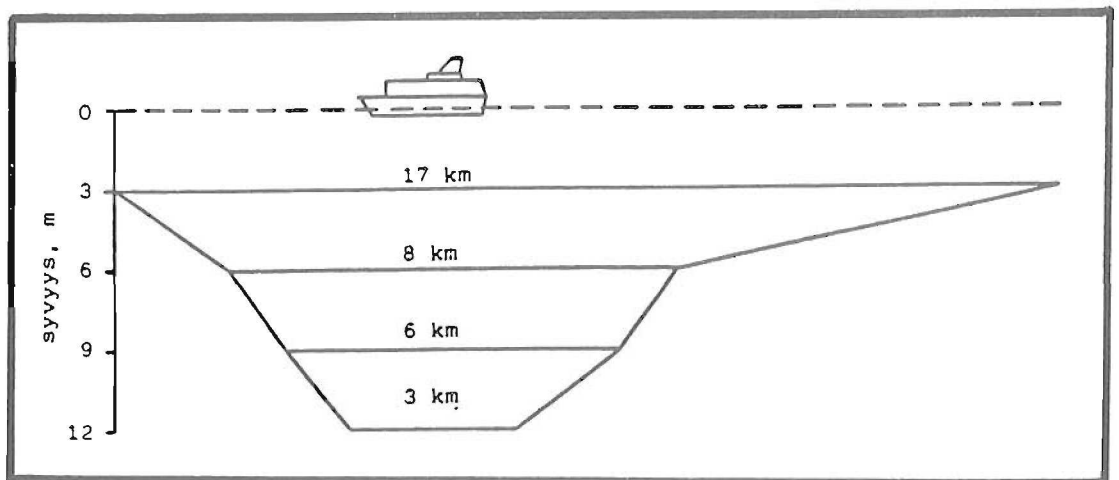
Eräs eroosiotarkastelun kulmakivistä on veden virtausnopeuden arviointi rannassa ja pohjan tuntumassa. Virtausnopeuden suuruus yhdessä materiaalin raekoon kanssa ratkaisevat pitkälti sen, ovatko edellytykset materiaalin kulkeutumiselle olemassa.

Väylän läheisyydessä tapahtuvasta eroosiosta ei tiettävästi ole suomalaisia tutkimuksia tehty. Osittain eroosiota ja sitä aiheuttavaa laivaliikenteen virtausvaikutuksia on tutkittu Turun yliopistossa tehdyissä maantieteen pro gradu -töissä (Friman 1989, Juopperi 1987).

Frimanin tutkimuksessa pyrittiin selvittämään rantamateriaalin kulkeutumista yksinkertaisin kerääjäkokein. Kokeiden perusteella ei voida tehdä selkeitä johtopäätöksiä, mutta saatujen tulosten valossa hienoin aines näyttäisi kulkeutuvan rannalta pois ja jäljelle jäisi karkea sora tai kivikko (Friman 1989). Laivojen aiheuttamien aaltojen ja virtausten todettiin kuljettavan väylän läheisyydessä hyvinkin karkeaa ainesta, jonka läpimitta oli yli 32 mm. Kokeissa ei tosin ole pystytty erittelemään täsmällisesti laivan vaikutusta havaittuihin virtauksiin.

Juopperin (1987) mukaan keskimääräiset matkustajalaivojen aiheuttamat virtaukset väylän läheisyydessä (250-1400 m) ovat noin 10-15 cm/s. Virtauksen suuntaa ei mittauksissa ole todettu. Frimanin (1989) mukaan lähellä väylää virtausnopeus nelinkertaistuu perusvirtaukseen verrattuna laivan vaikutuksesta. Suurimmat mitatut laivan aiheuttamat virtausnopeusmuutokset olivat suuruusluokkaa 20-40 cm/s. Yhteistä edellä mainituille tutkimuksille on se, että niistä ei voida vetää perusteltuja johtopäätöksiä sen enempää aluksen mittasuhteiden, alusnopeuden ja etäisyyden kuin mittaussyvyyden vaikutuksesta virtausnopeuteen. Tutkimuksissa on lähinnä selvitetty maastomittausten valossa laivojen aiheuttamien ilmiöiden olemassaoloa eikä ilmiöiden syntyyn vaikuttavia tekijöitä.

19 solmun nopeudella kulkevan laivan aiheuttamat virtausmuutokset kestävät Frimanin (1989) mukaan 28 minuuttia ulottuen väylänsuuntaisesti pitkälle aluksen eteen ja taakse (kuva 37).



Kuva 37. Laivan vaikutusvyöhyke väylänsuuntaisesti eri syvyyksillä (Friman 1989).

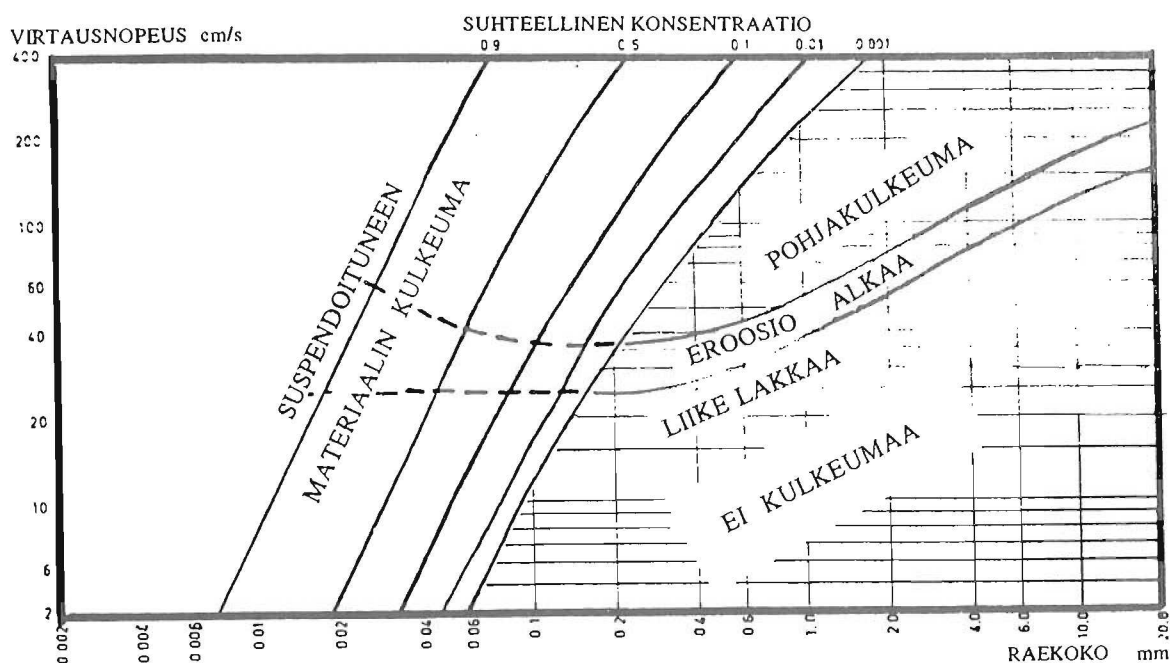
Eroosioherkkien rantojen kartoittaminen olisi ensisijainen tehtävä eroosio-ongelman tutkimiseksi. Vallitseva rantatyyppi Suomen merialueilla on kallioranta, eikä eroosiolle alttiita alueita liene Suomessa siinä määrin kuin Ruotsissa. Kuitenkin Suomessakin on toistaiseksi koettu eroosiohaittoja ainakin Ahvenanmaan saaristossa välillä Apteekkariväylä-Julgrund sekä Saaristomerellä Turun ja Paraisten välillä. Suunnittelun Sandö-Örö -väylän käyttöönotto aiheuttaisi ilmeisesti myös tällä väylällä eroosiohaittoja.

Eroosiokartoitus olisi ehkä järkevintä toteuttaa hankekohtaisesti uuden väylän suunnittelun yhteydessä. Tällöin kyseessä olisi lähinnä YVA-prosessiin liittyvä ympäristöselvitys, missä ennalta pyritään arvioimaan mm. niitä mahdollisia eroosiohaittoja, joita väylähankkeen toteuttamisesta seuraa ko. alueelle.

8.2 Eroosio

Eroosioherkkyys eli erodoituvuus tarkoittaa (käänteisesti) maan kykyä vastustaa eroosiota aiheuttavia voimia. Rantaluiskan eroosioherkkyteen vaikuttaa mm. maa-aineksen raekoko, kerrostuneisuus, vedenläpäisevyys, kosteus, kasvipeite sekä luiskan kaltevuus. Kun tarkastellaan rantamateriaalin kulkeutumista aluksen liikkeen aiheuttamana, on erityinen huomio kiinnitettävä veden virtausnopeuteen ja materiaalin raekokoon.

Materiaalin liikuttamiseksi vaadittavan voiman suuruus riippuu myös siitä, onko kyseessä kitka- tai koheesiomaalaji. Koheesiomaalajin partikkeleja pitää toisissaan kiinni sähkökemialliset koheesivoimat, kun kitkamaalajeilla materiaalin erodoituminen perustuu tiheyseroon ja kitkavoimiin.



Kuva 38. Homogeenisen materiaalin eroosioherkkyys raekoon ja virtausnopeuden mukaan (Granath 1989)

Materiaali lähtee liikkeelle, kun sen raekokoon verrannollinen kriittinen virtausnopeus on ylitetty. Homogeenisen materiaalin liikkumiselle on yhteys virtausnopeuden ja raekoon välille usein esitetty ns. Hjulströmin kuvion mukaan (kuva 38).

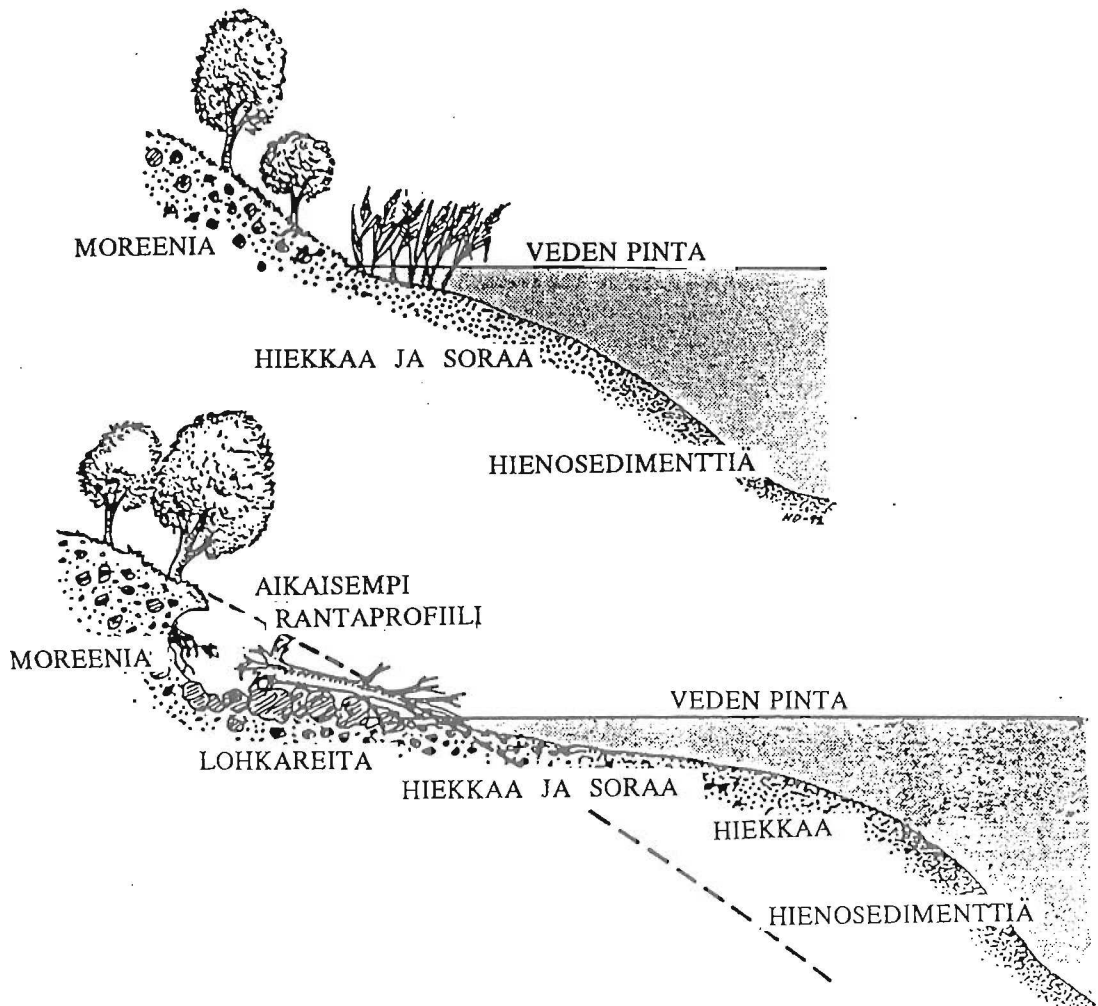
On huomattava, että Hjulströmin käyrässä on kysymys tasaisesta virtauksesta, mikä ei vastaa luonnossa esiintyvää virtauskenttää. Aluksen aiheuttamissa virtauksissa esiintyy yleensä suuressa määrin turbulenssia, ja myös aallokon iskeytyessä rantaan syntyy voimakkaasti turbulenttisia virtauksia, joiden vaikutus edistää eroosiota.

Virtaava vesi irrottaa ehkäpä herkimmin materiaalia, jonka raekoko on 0,1 - 0,2 mm. Tarvittava virtausnopeus on tällöin noin 35-40 cm/s. Mikäli virtausnopeus tästä merkittävästi vielä kasvaa, liikkuu materiaali suspendoituneessa tilassa. Sedimentoitumista taas ilmenee nopeuksilla, jotka alittavat 25 cm/s (Granath 1989). Ruotsissa tehdyissä mittauksissa on todettu laivojen todettu aiheuttavan suurimmillaan noin 200 cm/s virtausnopeuksia (Granath 1992, Daleke et.al. 1989). Laivojen lisäksi on todettu myös pienempien alusten (ns. Waxholmsbåtar) ja huviveneiden aiheuttavan merkittävää aallokkoa ja virtauksia.

Kun arvioidaan alusten aiheuttamien virtausten merkitsevyyttä, on tarkasteltava myös luonnon itsensä aikaan saamia, lähinnä tuuliolosuhteista johtuvia virtauksia. Saaristomeren virtaustutkimuksessa (Virtaustutkimuksen neuvottelukunta 1979) on todettu, että 'luonnolliset' virtaukset ovat Saaristomeren alueella keskimäärin heikkoja, mutta äärinopeudet saattavat hetkellisesti olla melko suuria. Suurimmat mitatut hetkelliset virtausnopeudet vuosina 1974-1977 tehdyissä mittauksissa olivat noin 40-50 cm/s, ja yli 10 cm/s :n virtauksia havaittiin pintakerroksessa paikoittain 10-20 % kaikista havainnoista. Pohjakerroksessa mitatut virtausnopeudet olivat huomattavasti pienempiä, joten niiden merkitys pohjamateriaalin kulkeutumisprosesseissa lienee sekundääristä suurimpien alusten aiheuttamiin hetkellisiin maksimivirtauksiin nähden.

Rantavyöhykkeen erodoitumisesta laivaliikenteen seurauksena voidaan todeta seuraavaa (Granath 1992):

1. Laivan aiheuttaman virtauksen vaikutus rannassa edellyttää sitä, että tuuliaallokon vaikutus 'ylittyy'. Häiriöiden taajuuksilla on tähän tärkeä osuus.
2. Jyrkkä ranta erodoituu niin pitkään kuin irtonaista materiaalia löytyy.
3. Matalikoilla tai loivilla rannoilla tasapaino löytyy suhteellisen pian. Erooituminen vähenee, kun rannan materiaalipitoisuus ja profiili sopeutuvat vallitsevaan energiatilaan.
4. Jos pohjaprofiili on sellainen, että aluksen ohitus aiheuttaa pitkäkestoisia virtauksia, tasapaino järkkyy ja kestää pitkään ennen kuin tilanne balansoituu.
5. Mikäli alusten aiheuttamien virtausten energiataso kasvaa (suurempi alus tai huono rungon muoto), eroosio aktivoituu rannalla uudelleen (kuva 39).



Kuva 39. Kasvava energiataso aiheuttaa rannan uudelleenerodoitumista, joka saattaa aiheuttaa rantapenkereen sortumista ja maalajien lajittumista (Granath 1992).

8.2.1 Rannan eroosioherkkyys

Rantojen eroosioherkkyttä arvioitaessa voidaan rantatyyppit jakaa kahdeksaan eri luokkaan (Granath 1991, 1992):

- Luokka 0: Keinotekoiset rannat
- Luokka 1: Kalliorannat
- Luokka 2: Kivikkoinen (louhikko-) ranta. Kivien halkaisija > 20 cm.
- Luokka 3: Soraa ja kiviä. Rannalla on erodoituminen käynnissä tai jo päättynyt. Raekoko vaihtelee 2:sta 20:een cm:iin.
- Luokka 4: Loiva moreeniranta. Sekalaista materiaalia, ei vielä 'lop-puunerodoitunut'. Rannan kaltevuus on alle 10 astetta.
- Luokka 5: Jyrkkä moreeniranta. Sama kuin luokka 4, mutta kaltevuus on yli 10 astetta.

Luokka 6: Hiekkaranta. Hiekkaa ja hietaa, raekoko alle 2 cm.

Luokka 7: Hienomateriaaliranta. Raekoko hiekkaa pienempi ($< 0,2$ mm), maalaji silttiä tai savea. Yleensä loiva ranta, joka on suojaaisessa paikassa.

Ylläolevan luokittelun mukaisesti rantatyyppit 4-7 ovat herkkiä rantoja, joista herkeimpänä erodoitumiselle voidaan pitää jyrkkää moreenirantaa (luokka 5).

Tukholman saaristossa on rantojen eroosioherkkyttä ja jo tapahtunutta erodoitumista tutkittu ja seurattu mm. maastotutkimuksin ja ilmakuvauksin. 272 kilometrin mittaisen rannan inventointi osoitti, että rantaa on vaurioitunut väyliä varrelta noin 9 kilometrin matkalla, mikä tekee 3 % inventoidusta alueesta. Rantamateriaalin tutkimus osoitti, että mm. herkeimmäksi arvioidun Furusundsleden'n varrella on enintään 500 metrin etäisyydellä väylästä laivojen mekaaniselle rasitukselle alttiina jopa 47 % rannasta.

Rantojen inventoinnin johtopäätöksenä todettiin, että luonnonrannoilla havaitut vahingot olivat rajallisia ja ympäristövaikutuksiltaan vaarattomia. Esteettisesti vahingot olivat monessa tapauksessa haitallisempia (Granath 1992). Rantojen kartoituksen tuloksena voitiin tehdä mm. seuraavia johtopäätöksiä:

- Suurella osalla rannoista on hyvä vastustuskyky eroosiota vastaan
- Omaisuuteen kohdistuvat vahingot ovat todennäköisesti mittavampia kuin luonnonvahingot
- Ongelma ei ole ainoastaan 'suomenlaivojen' käyttämillä väylillä
- Eroosio-ongelmaa voitaisiin todennäköisesti pienentää merkittävästi pienillä muutoksilla nopeusrajoituksissa ja väylälinjauksissa yhdessä valvonnan kanssa

Eroosion syntymiseen vaikuttavia mekanismeja eli aalto- ja virtausilmiöitä on käsitelty monessa ruotsalaisessa tutkimuksessa (mm. Daleke, Hedström & Nissar 1989, Granath 1989, Granath 1991, Granath 1992 sekä Hammerfeldt & Nohrborg 1991). Aaltoparametrien mittauksissa ja arvioinnissa on kuitenkin törmätty ongelmaan, joka on toistunut myös suomalaisissa tutkimuksissa eli varsin alkeelliseen mittaus- ja analysointimenetelmiin. Usein onkin tutkimuksen loppupäätelmissä viitattu siihen, että jatkossa olisi syytä pystyä parempien aaltomittauslaitteistojen avulla mittaamaan ja analysoimaan erilaisten alusten aallonmuodostusta eri olosuhteissa. Jatkotutkimusten tarpeellisuutta painottaa mm. Ruotsin eturivin tutkija Lars Granath, joka viimeisessä alan tutkimuksessaan (Granath 1992, s.19) toteaa: "*... tällä hetkellä ei ole riittävää tietoa aaltosysteemien haittavaikutuksista. Jatkotutkimukset, ennen kaikkea useat käytännön mittaukset eri paikoissa, erilaisilla vesisyvyyksillä ja erilaisilla aluksilla antaisivat merkittävästi varmemman pohjan keskusteluille niistä toimenpiteistä, joilla vähennettäisiin eroosiohaittoja.*"

8.2.2 Ruotsalaisten tutkimusten soveltaminen Suomen olosuhteisiin

Kuten jo edellä on todettu, ovat Tukholman saariston rannat suomalaisiin rantoihin verrattuna herkempiä eroosiolle, koska Suomen saaristossa on kalliorantojen osuus merkittävästi suurempi. Kuitenkin myös Suomen olosuhteissa on syytä tiedostaa eroosiohaittojen ilmenemisriski. Erooituminen tulee ottaa huomioon erityisesti uusia väyliä suunniteltaessa, koska alusten aalto- ja virtausvaikutukset ovat voimakkaimpia alueilla, joissa ei aiemmin ole ollut merkittävää alusliikennettä.

Ruotsissa tehdyt eroosiotutkimukset ja rantainventoinnit ovat hyvä lähtökohta myös Suomessa tarvittavalle eroosiokartoitukselle. Laajat maastotutkimukset haitta-analysointeineen tulisi tehdä myös Suomessa. Toistaiseksi on rantatyyppien laadusta väylien varrella tutkittua tietoa vain harvoilta alueilta. Saaristomeren osalta lienee Airisto tutkituin alue; siellä arvioidaan hiekkarantojen osuuden olevan kaikista rannoista noin 8 % (Pyökäri 1986).

Sinällään ei Ruotsissa tehtyjä tutkimuksia ei voida suoraan soveltaa kuin osittain Suomen väylien herkkyyksianalysointiin, koska väylien topografia ja käytetyt alusnopeudet eivät vastaa kuin osittain olosuhteitamme.

8.3 Kiintoaineen kulkeutuminen

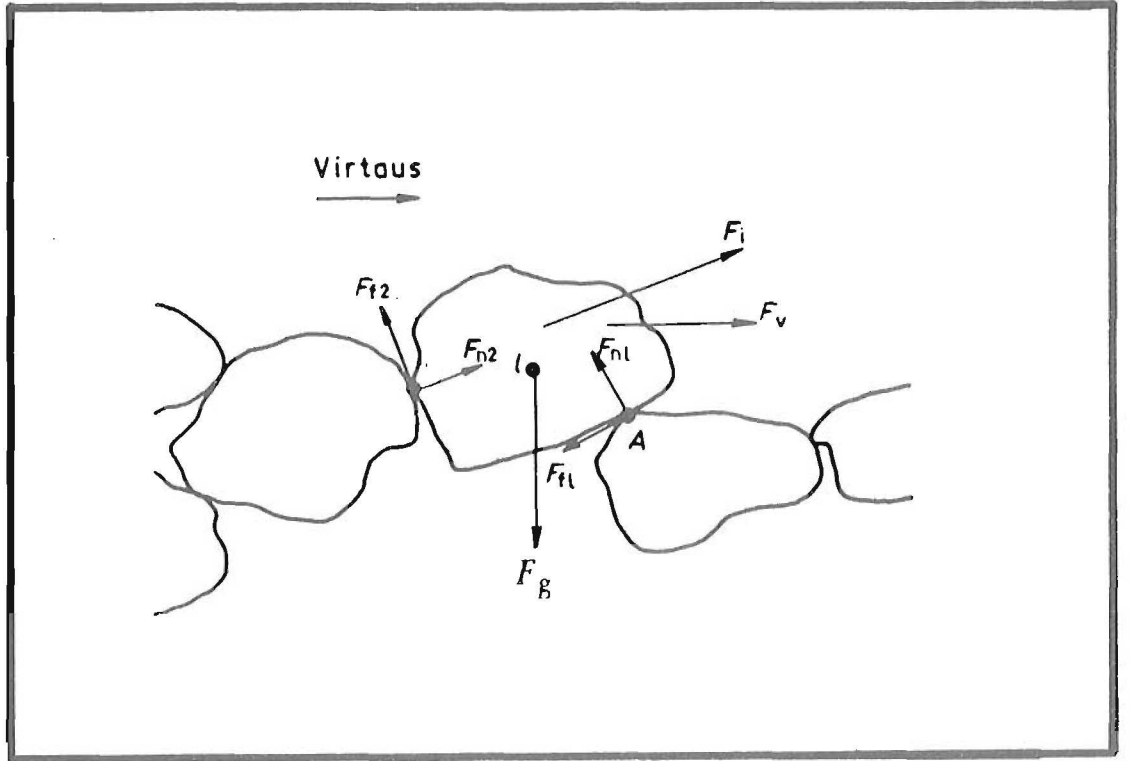
Kiintoaine kulkeutuu vesistössä joko suspendoituneena (suspended solids) tai tai pohjaa pitkin liukumalla (bed load). Joskus pohjakulkeumasta erotetaan vielä omaksi ryhmäkseen vierimällä tai hyppäyksin tapahtuva partikkelin liike (contact load tai saltation). Prosessit eivät ole toisistaan riippumattomia, sillä suspendoitunut materiaali voi myös liikkua pohjakulkeumana tai kasaantua pitemmäksikin aikaa. Toisinaan kiintoainekulkeuma jaetaan myös pohja-ainekseen (bed-material load) ja huuhtoutuvaan ainekseen (wash load) (Seuna ja Vehviläinen 1986).

Pohja-aineksen liikkeellelähtö pääasiassa virtauksen pohjaan kohdistaman leikkausvoiman suuruudesta (kuva 40). Kriittinen tila, jossa yksityinen hiukkanen lähtee liikkeelle, saavutetaan, kun virtauksen aiheuttaman, partikkelia eteenpäin siirtävän voiman F_i ja painovoiman F_g suhde ylittää tietyn raja-arvon (Seuna ja Vehviläinen 1986):

$$F_s = \frac{F_i}{F_g} \propto \frac{\rho u^2 d^2}{g(\rho_s - \rho) d^3} = \text{vakio} \quad (31)$$

missä

- ρ = veden tiheys
- u = virtausnopeus
- d = hiukkaskoko
- g = maan vetovoiman kiihtyvyys
- ρ_s = pohjasedimentin tiheys



Kuva 40. Pohjassa olevaan hiukkaseen vaikuttavat voimat (Seuna ja Vehviläinen 1986).

Partikkelien väliset kitkavoimat ja sekä painovoima jätetään tässä ottamatta huomioon. Virtauksen nopeus partikkelin rajapinnalla eroaa ympäröivästä virtausnopeudesta, joten se voidaan korvata myös ns. kitkanopeudella u^* .

Voiman F_i lisäksi partikkeliin vaikuttaa samaan suuntaan toinen voima F_v , joka on veden viskositeetin aiheuttama virtauksen suuntainen voima:

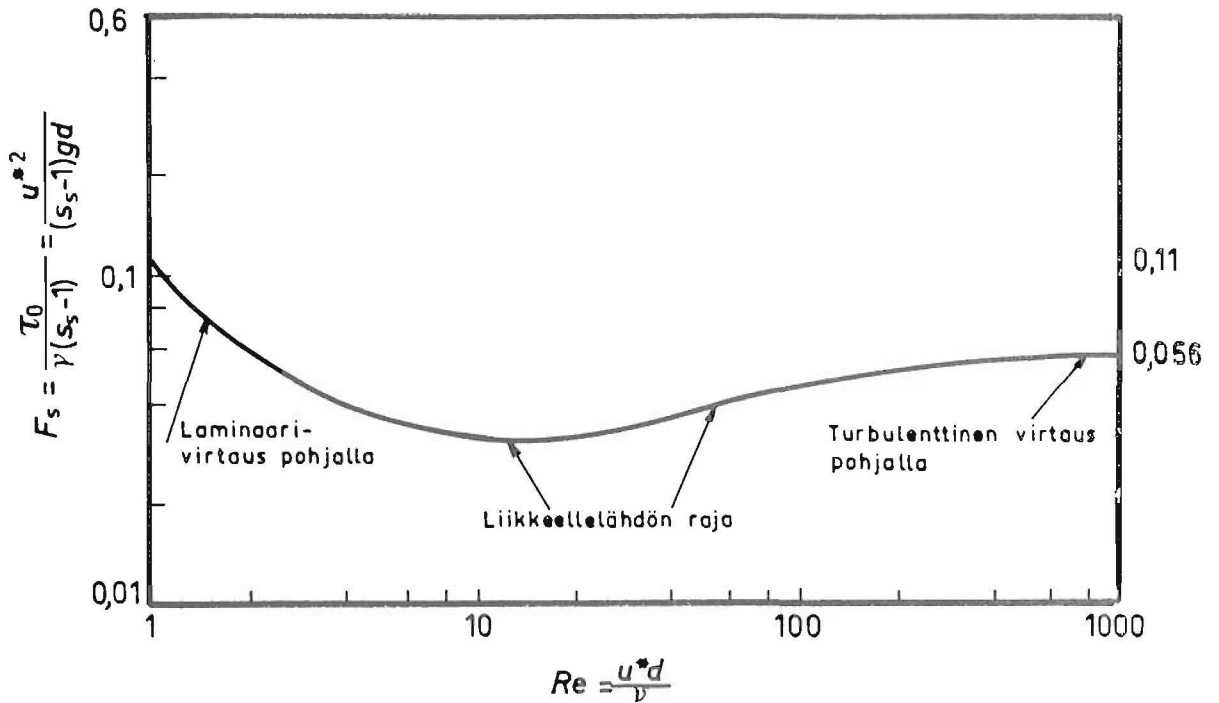
$$F_v = \mu u d \quad (32)$$

missä μ = viskositeettikerroin.

Viskositeetti on nesteen kyky vastustaa nestepartikkelien välistä liikettä. Kinemaattinen viskositeetti määritetään: $\nu = \mu / \rho$. Suhteen $F_i / F_g (= F_s)$ kriittisen arvon suuruuteen vaikuttaa myös suhde F_i / F_v , joka on ns. Reynoldsin luku :

$$Re = \frac{F_i}{F_v} = \frac{u^* d}{\nu} \quad (33)$$

Laminaarisessa virtauksessa viskositeettivoiman merkitys on suuri, mutta turbulentsissa virtauksessa Reynoldsin luku on suuri ja viskositeettivoiman suhteellinen osuus vähenee. Kun Reynoldsin luku on yli 200, tulee suhde F_i / F_g riippumattomaksi viskositeetista ((Seuna ja Vehviläinen 1986). Asiaa valaisee ns. Shieldsin funktio, jossa suure $F_s = F_i / F_g$ on esitetty Reynoldsin luvun funktiona (kuva 41):



Kuva 41. Shieldsin funktio (Seuna ja Vehviläinen 1986).

Turun saaristossa Airistolla on tutkittu kiintoaineen kulkeutumista rannan tuntumassa laiva-aaltojen virtausvaikutuksen johdosta (Friman 1989). Tärkeimmistä rantamateriaalin kuljetusmuodosta on käytetty nimitystä saltaatio, joka on suurimpien partikkelien liikettä, missä partikkelit pyörivät, liukuvat tai hyppivät pohjalla. Tehdyissä mittauksissa havaittiin, että väylien läheisyydessä liikkui laivojen vaikutuksesta pohjassa raekooltaan jopa yli 32 mm:n ainesta. Hieno pohjamateriaali näytti tutkimuksen mukaan kulkeutuvan rannalta pois päin ja tilalle tulee karkeampaa ainesta.

9 VESIEN KÄYTTÖÖN KOHDISTUVIA VAIKUTUKSIA

Olli Madekivi
Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

9.1 Yleistä

Alusten vaikutukset rakennettuun ympäristöön keskittyvät lähinnä peräaaltojen muodostamaan vaikutuskenttään, joskin voimakkaat virtaukset vaikuttavat osaltaan vedenalaisten rakenteiden stabiliteettiin.

Aiemmin on tutkittu myös alusten aiheuttamien aaltojen vaikutusta kalastajien pyydyksiin, joiden kiinnityksen todettiin kärsivän aallokosta melkoisesti aaltorintaman tullessa tietyistä suunnista (Ström 1977).

Toistaiseksi on alusliikenteen haitat rakennetulle ympäristölle koettu pitkälti kalastukseen, vapaa-aikaan ja veneilyyn liittyvän toiminnan vaikeutumisena. Jatkossa

saattaa rannanomistajien taholta viritä lisääntyvää keskustelua rantojen käyttökelpoisuuden vähenemisestä ja maan arvon pienenemisestä.

Seuraavassa on tarkasteltu niitä alusliikenteen ympäristövaikutuksia, jotka kohdistuvat mm. rantarakenteisiin, veneisiin ja vesillä liikkumiseen. Kalastukseen liittyviä vaikutuksia on käsitelty jo aiemmin luvussa 7.2.4.

9.2 Alusten peräaalloista syntyvät haitat

Ilmeisesti yleisimpiä muille veneille peräaalloista syntyviä hetkellisiä vahinkoja ovat venesatamassa kiinnitetyille veneille tapahtuvat vahingot. Normaalisti venesatamat ovat suojassa normaalilta merenkäynniltä, mutta arkoja alusten muodostamille aalloille. Erityisesti lähekkäin kiinnitetyille purjeveneille saattaa helposti syntyä vahinkoja aallokosta mastojen iskeytyessä yhteen.

Vakuutusyhtiöissä ei peräaaltojen aiheuttamia vahinkotapauksia ole koettu merkittävässä ongelmana. Laivojen vastuuvakuutuksen perusteella on tosin melko usein haettu korvauksia erilaisiin vahinkoihin, mutta vakuutusyhtiöiden on ollut helppoa torjua korvausvaatimukset vetoamalla mm. aluksen turvallisen ohjailun vaatimaan riittävään kulkunopeuteen. Yleensä mm. ankkuroinnin pettämisestä johtuva veneen rikkoutuminen rantakallioihin on katsottu aiheutuneen puutteellisesta kiinnittymisestä ja siitä, ettei ole varauduttu väylän läheisyydestä seuraaviin olosuhteisiin. Poikkeuksena voidaan mainita kuitenkin vahingot, jotka johtuvat huolimattomasti kuljetetun aluksen poikkeuksellisen voimakkaista aaltovaikutuksista.

Voimakas aallonmuodostus aiheuttaa toisinaan haittaa myös muille samanaikaisesti vesillä liikkujille. Etenkin pienemmät veneet tai lähinnä niiden matkustajat kärsivät ehkäpä useinkin kookkaampien alusten peräaalloista. Tällaisissa tapauksissa päädytään harvoin vahingonkorvaukseen, mutta poikkeuksiakin löytyy (ks. luku 10.3). Voidaan kuitenkin todeta, että valtaosa muille veneille aiheutetuista vahingoista tapahtuu kärsijäosapuolen ollessa ankkuroituna tai kiinnitettynä laituriin tai rantaan.

Peräaaltojen aiheuttamia vahinkotapauksia on viime aikoina käsitelty yhä useammin myös oikeudessa. Yleensä on ollut kysymys vahingonkorvaustapauksista, rikosperusteiset tapaukset peräaaltojen vahingollisista vaikutuksista ovat harvinaisia.

Peräaaltojen aiheuttamat vahinkotapaukset ovat luonteeltaan vaikeita juridisia näyttökysymyksiä, joissa on usein vastakkain kaksi toisistaan poikkeavaa näkökantaa. Selkeän näytön puuttuessa on vaikeata arvioida, onko kyseessä ollut tarpeettoman haitan tai häiriön aiheuttaminen vai esim. aluksen turvallisen ohjattavuuden edellyttämä riittävä kulkunopeus.

Peräaaltojen mahdollisia vahinkoja pyritään nykyään ehkäisemään aroimmilla alueilla ns. aallokon nostattamiskielloin. Vapaakuntakokeiluun liittyen on päätösvalta veneliikennelain 3 a §:ssä säädetystä kielloista ja rajoituksista siirretty lääninhallitukselta eräille kunnille (mm. Helsinki ja Turku), jotka näin voivat antaa veneilyä koskevia rajoituksia, kuten nopeusrajoituksia ja aallokon nostattamiskieltoja.

Aallokon nostattamiskieltoja perustellaan mm. vesilläliikkujien turvallisuuden lisäämiseksi, luonnon ja alueen yleisen virkistyskäytön suojaamiseksi sekä laitureissa

olevien veneiden ja rannan rakennelmien vaurioitumisen ehkäisemiseksi (Helsingin kaupunki /Ympäristölautakunta 1992).

Huomionarvoista asiassa on se, että aallokon nostattamiskiellolle ei nykyisellään ole olemassa tarkkaa määritelmää. Näin ollen kunkin veneilijän harkittavaksi jää, mitkä ovat kiellon tarkoittaman peräaallon mittasuhteet, millainen taas sallittu peräaalto.

9.3 Alusten aiheuttamien virtausten haitat

Peräaaltojen lisäksi myös laivan imuvaikutus voi aiheuttaa vahinkoja rajoitetulla vesialueella mm. ankkuroidulle alukselle. Tästä voidaan mainita esimerkki muutaman vuoden takaa, kun ro-ro -aluksen voimakas imu laski vedenpintaa voimakkaasti, jolloin väylän vieressä rannassa ollut vene sai pohjakosketuksen ja sen pohja vaurioitui veden paetessa kölin alta. Tapaus sattui ahtaan kapeikon kohdalla Helsingin edustan Kustaanmiekan salmessa. Myös tässä tapauksessa oli kysymys ro-ro -aluksen normaalista liikkumisesta eikä vauriota kärsinyt vene saanut korvauksia ro-ro -aluksen vastuuvakuutuksesta.

Alusten imuvaikutus koetaan erityisen ongelmalliseksi myös ahtaiden laivaväylien varrella sijaitsevilla venesatamissa. Esimerkiksi Turun satamaan johtavan väylän varrella olevien pursiseurojen venesatamat ovat kärsineet suurimpien alusten imuvaikutuksista, ja koetut haitat ilmenevät lähinnä kahdella tavalla:

- 1) Alusten aiheuttamat virtaukset kuljettavat mukanaan pohjamateriaalia, joka aiheuttaa ylimääräistä liettymistä. Pursiseurat ovat arvioineet liettymisen olevan vuodessa noin 10-15 senttimetriä, jolloin satama-alueella joudutaan tekemään pohjan imuruoppausta noin 3-5 vuoden välein. Alusten aiheuttama osuus liettymistapahtumaan on kuitenkin vaikeaa erikseen arvioida.
- 2) Alusten imu- ja painevaikutus aiheuttaa merkittäviä vedenkorkeusvaihteluita ahtaimmissa paikoissa. Laiturirakenteet ja ennen kaikkea ponttonilaitureiden ankkurointi joutuvat lisäkuormituksen kohteeksi. Veneiden kiinnitykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, ja vedenkorkeusvaihtelut voivat ilmeisesti aiheuttaa myös mm. purjeveneiden mastojen kolahteluja samaan tapaan kuin kookkaan aallokon aiheuttamana. Talven jääpeitteen aikana laiturirakenteisiin saattaa kohdistua voimakasta räsytystä, jos ympäröivä jääkenttä liikkuu nopeiden imu- ja painevaikutuksista johtuvien vedenkorkeusvaihteluiden mukana.

Turkuun vievällä väylällä on laivojen eroosiovaikutukset todettu haitallisina erityisesti Ruissalon rannoilla. Rannan erodoituminen on aiheuttanut myös suoraan rahassa mitattavia kustannuksia, koska rannassa kulkevaa tietä on vuosien varrella jouduttu Turun kaupungin katurakennusosaston toimesta korjaamaan ja suojaamaan eroosiolta. On arvioitu, että kolmen viime vuoden aikana tien kunnossapidon vaatimaa rannan luiskaverhousta on parannettu noin 60 000 markan arvosta ja viimeisen 20 vuoden aikana eroosiovaurioiden hoitamiseen olisi kulunut joitain satoja tuhansia markkoja (Turun Kaupunki /Katurakennusosasto : suullinen tieto).

10 ALUSTYYPIN JA KÄYTTÖTARKOITUKSEN MERKITYS YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN SYNTYMISEEN

Olli Madekivi

Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

Alusten vaikutuksia on syytä tarkastella hieman tarkemmin alustyypeittäin, jolloin havaitaan, että jotkut vaikutuslajit ovat sidoksissa aluksen käyttötarkoitukseen. Paitsi aluksen fyysiset ominaisuudet, myös käyttäjien tarpeet ja käyttötavat luovat lähtökohdan vaikutusten esiintymiselle.

10.1 Autolautat

Alusliikenteen ympäristövaikutuksia tarkasteltaessa suurin kiinnostus kohdistuu yleensä Suomen ja Ruotsin väliseen autolauttaliikenteeseen. Mitä ilmeisimmin juuri autolautat aiheuttavatkin valtaosan ilmenevistä ympäristövaikutuksista jo pelkästään suuren kokonsa ja intensiivisen liikennöinnin vuoksi. Toisaalta on huomattava, että nykyiset matkustaja-alukset ovat melko uusia, ja niiden suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota mm. aallonmuodostuksen minimoimiseen.

Autolauttojen vaikutukset ympäristöön ovat nykyään osittain erilaisia kuin esimerkiksi 15-20 vuotta sitten. Tähän vaikuttaa paitsi huomattavasti kasvaneet alusten mittasuhteet ja alustekninen suunnittelu, myös herkimmille alueille säädetyt tiukemmat nopeusrajoitukset. Alusten muodostamat aallot eivät ilmeisesti (?) ole vaikutuksiltaan entisten kaltaisia, mutta imu- ja painevaikutukset etenkin kapeissa ja matalissa väylän kohdissa ovat aluskoon kasvaessa yhä merkittävämpiä.

Autolauttaliikenteen kohdalla olisi nopeusrajoitusten tiukentamisella muuta liikennettä radikaalimmat vaikutukset liikennöintisuoritteisiin. Ruotsinliikenteen kannattavuus on ilmeisen pitkälle kiinni vuorokausiliikenteen toteuttamismahdollisuudesta. Varustamojen mukaan nykyisiä nopeusrajoituksia ei voida enää tiukentaa, tai muuten satamassaloloaika jää liian lyhyeksi estäen 24 tunnin periodin toteutumisen Turun ja Naantalin liikenteessä. Tosin tähän seikkaan on vedottu aina aiemminkin, kun on keskusteltu voimassa olevien nopeusrajoitusten muuttamisesta.

10.2 Rahtialukset

Säiliö- ja kuivalastialusten ympäristövaikutukset ovat paljolti samansuuntaisia kuin autolauttojen kohdalla. Poikkeuksen muodostaa se seikka, että rahtialukset liikkuvat toisinaan myös ilman lastia, jolloin vaikutuskenttä on toisenlainen kuin täydessä lastissa kulkevan aluksen. On myös huomattava, että suurimpien rahtialusten syväys on 10-15 metriä, kun autolauttojen syväys jää noin 7 metriin. Matalilla väylillä rahtiliikenteen vaikutukset korostuvat, vaikka alusten nopeus onkin verrattain pieni. Tyhjänä liikkuvien öljytankkereiden on todettu muodostavan huomattavan mittavia aaltoja (Ström 1977), mikä viittaa siihen, että rungon muoto on suunniteltu lähinnä lastissa kulkevan aluksen käyttöominaisuuksia varten.

10.3 Puolustusvoimien kalusto

Autolauttaliikenteen ohella on voimakkaista aallokkohaitoista syytetty usein puolustusvoimien aluksia. Selvää onkin, että merivoimien alusten käyttötarkoitus edellyttää toisinaan nopeata ajoa, josta saattaa 'siviileille' aiheutua ikäviäkin haittavaikutuksia. Puolustusvoimien, lähinnä merivoimien alusten haitallisia aaltovaikutuksia pyritään kuitenkin kesäaikana pienentämään Saaristomerellä merivoimia koskevalla nopeusrajoituksella, jota seuraavassa tarkastellaan tarkemmin.

Saaristomeren laivaston merenkulkukäskyssä (Saaristomeren laivasto 1993) on Saaristomeren laivaston taistelualusten maksiminopeus rajoitettu hätätilanteita lukuunottamatta 18 solmuun aikavälillä 17.5. - 26.9. Muulloin saadaan ajaa enintään 24 solmun nopeutta.

Nopeuksien rajoittamisen perusteluissa viitataan ulkopuolisille aiheutettujen "keikutusvaurioiden" lopettamiseen ja myös omien riskien vähentämiseen. Osaltaan rajoitukseen lienee vaikuttanut tietoisuus siitä, että monilla alustyypeillä polttoainekustannukset nousevat merkittävästi yli 18 solmun nopeuksilla.

Siirtymisissä on koko purjehduskauden ajan maksiminopeutena 24 solmua, mikä koskee myös avomerta. Suositeltava siirtymisnopeus on kuitenkin määräyksen mukaan 14-18 solmua.

Nopeusrajoitus koskee seuraavia alueita (Kuva 42):

- Saaristomeren ydinalue
- Ahvenanmaa
- Suomenlahden rannikon suuntainen pääväylä ja sen sisäpuolinen saaristoalue
- Pohjanlahden alueen sisääntuloväylät

Aluksen päällikön harkinnan mukaan saa 18 solmun nopeusrajoituksen ulkopuolelle jäävissä tilanteissa ylittää myös suositellun 24 solmun siirtymisnopeuden, kun siihen on olemassa perusteltuja syitä, kuten esimerkiksi:

- Tykkiveneiden turbiiniajo ammattitaidon ylläpitämiseksi
- T -luokan pääkoneiden vaatimat suuret konetehot aika ajoin
- Taktisten tilanteiden vaatima maksiminopeuden käyttö
- Alusten koeajot

Saaristomeren laivaston merenkulkukäskyssä (Saaristomeren laivasto 1993) määrätty taistelualusten maksiminopeus on voimassa hätätilanteita lukuunottamatta Saaristomeren ydinalueella, Ahvenanmaalla, Suomenlahden rannikon suuntaisella pääväylällä ja sen sisäpuolisella saaristoalueella sekä Pohjanlahden alueen sisääntuloväylillä (kuva 42) .

Merivoimien alusten muodostamaa aallokkoa saatetaan kohdata myös alueilla, jotka ovat suojassa muulta laivaliikenteeltä. Tämä johtuu siitä, että alusten käyttötarve on laajempi kuin yleiseen liikenteeseen tarkoitettu väylästä.

Viime vuosina on Puolustusvoimien alusten aiheuttamia peräaaltovahinkoja korvattu kuvassa 43 esitetyllä tavalla.

Puolustusvoimat pyrkii osaltaan ympäristöhaittojen minimoimiseen paitsi omilla nopeusrajoituksillaan, myös tiedottamalla julkisesti toiminnastaan, jolloin poikkeuksel-

MERIVOIMIEN ALUSTEN AIBEUTTAMAT "KEINUTUSVAURIOT" 1990 - 1992

AIKA/PAIKKA	ALUS	VAURION KOHDE	VAURIOT	KORVAUS MK
10.05.1990	tyv Karjala ohjv Oulu	purjevene s/y Adina	- purjevene iskeytyi useampia kertoja laituria vasten vaurioituen keulasta (kaiteen ja kulkuvalojen korjaus)	1.315,-
<p>SELITE:</p> <p>Alusten nopeus oli ollut 12-14 solmua niiden sivuuttaessa Bastholmin laiturisiin. Aluksilta oli laiturissa olleet veneet, mutta ei oltu enää alhaisesta nopeudesta johtuen hiljennetty enempää niiden takia. Aluksilta oli oletettu aallonmuodostuksen olleen riittävän alhainen. Aallonmuodostus oli kuitenkin liian suuri ottaen huomioon puutteelliset kiinnitysjärjestelyt Bastholmin laiturissa.</p>				
16.08.1990 Kustavin ja Turun välinen saaristo- väylä	tyv Turunmaa	työl Repsikka	- lautan hydraulinen nostosylinteri revennyt irti kiinnikkeistään ja korvake revennyt - lautan runko saanut painaunmia kylkeen ja keularankaan - takakaide ja kanat vääntynyt - takajalan hydrauliletkut ja liittimet revenneet - makeavesisäiliö pois paikoiltaan ja revennyt	100.000,-
<p>SELITE:</p> <p>Tyv Turunmaan vauhti 12 solmua, mutta hidastettu ennen työlautan sivuuttamista 9 solmuun. Suuri aalto oli kuitenkin heilauttanut työlauttaa 2-3 kertaa, jolloin lauttaan kiinnitetty työvene oli iskeytynyt työlautan perään. Työlautta ei ollut meriteiden sääntöjen 30 säännön edellyttämällä tavalla merkitty.</p>				
30.10.1991	tyv Karjala	MS Merihelmi	- alus iskeytyi laituria vasten, jolloin mm - kyljessä painaunmia, kansirakenne vaurioitui - kaide vääntyi, ikkunoita rikkoontui - saunan lattia halkesi, kuitas, pata ja paisuntasäiliö vaurioituivat	18.425,-
<p>SELITE:</p> <p>Tyv Karjala oli ollut siirtymässä taktisen harjoitus 3:n toiminta-alueelle, kun se sai hätäsanoman ohjv Tuiman pohjakosketuksesta. Tyv Karjala oli sanoman saapuessa ohittanut Nauvo-Korppoo maantielautan liikennöintipaikalla olevan 9 solmun nopeusrajoitusalueen. Alus nosti nopeutensa kaasugeneraattorin tyhjäkäyntiteholta (noin 14 solmua) 24 solmun nopeutta vastaavalle teholla kiirehtien on Tuiman avuksi.</p>				
11.05.1992 Pensarin Sandön välillä	ohjv Kotka	pienvene	- kyljessä iskeymä, jossa läpireikä - kaari laudan leveydeltä poikki - veneen pohjalla muutama nihrauma	4.020,-
<p>SELITE:</p> <p>Alus oli useampaan otteeseen hiljentänyt nopeuttaan rannalla olleiden veneiden takia, mutta tähytyksestä huolimatta ko vene oli jäänyt havaitsematta.</p>				
03.11.1992 Sandön saaren läheisyys	ohjv Porvoo	Terhi 415 R-vene	- vene täyttyi vedellä, jolloin mm silmälasi ja kangas huuhtoitiivat veteen, lääkkeet ja ruokatarvikkeet tuhoutuivat - radiopuhelin tuhoutui	9.951,60
<p>SELITE:</p> <p>Alus oli hiljentänyt alueella nopeuttaan kolme kertaa veneiden takia aallokon pienentämiseksi, mutta vaurioitunut vene oli jäänyt havaitsematta.</p>				

Kuva 43. Merivoimien alusten muodostamien aaltojen aiheuttamat vauriot ja niiden korvaukset vuosina 1990-1992. (Merivoimien esikunta 1993)

lisesta ajonopeuksista saattaa seurata haitallisempia aaltoja. Suuret ja terävät peräaallot tulevat monesti muille veneilijöille yllättäen, eikä niiden vaikutuksiin ehkä aina osata varautua. Merivoimat katsoo kuitenkin oman imagonsa kannalta tärkeäksi korvata aiheutuneet vahingot, vaikka juridista korvausvelvollisuutta ei olisikaan olemassa. Toisinaan on kuitenkin havaittu myös tapauksia, jolloin täysin vailla perusteita on vaadittu korvauksia puolustusvoimien kaluston aiheuttamiksi oletetuista vahingoista.

10.4 Pelastustoimintaan, sairaankuljetukseen ja virka-ajoon liittyvät alukset

Veneliikennelain mukaisissa veneliikenteen rajoittamispäätöksissä on määrätty, että rajoitusten ulkopuolelle jäävät mm. pelastustoimintaan, sairaankuljetukseen ja virka-ajoon liittyvät alukset. Näin mm. aallonmuodostuskielto ei koske näitä aluksia, mikäli toimitaan hälytysajossa tai virkatehtävissä.

Tällä hetkellä on meneillään ainakin yhden vahinkotapauksen oikeuskäsittely, jossa Helsingin pelastuslaitoksen aluksen aiheuttamat aallot vaurioittivat laiturissa ollutta toista alusta. Tässä tapauksessa on palolaitoksen työntekijää syytetty varomattomuudesta vesiliikenteessä, joten aivan huoletta eivät pelastustoimintaan liittyvät alukset saa aallokkoa aiheuttaa.

10.5 Veneet

Veneilyn aiheuttamista ympäristöhaitoista on viime aikoina keskusteltu veneilyharrastuksen nopeasti lisääntyttyä yhä useammin. Toki on selvää, että suurten huviveneiden määrä on kasvanut, ja suuremman venemäärän myötä myös aiheutuu yhä enemmän mm. peräaaltohaittoja. Veneliikennelain mukaiset nopeus- ja aallokonnostattamisrajoitukset onkin säädetty juuri huviveneitä varten.

Veneiden peräaaltovaikutuksista on toistaiseksi olemassa vain vähän tutkittua tietoa, ja mm. erityyppisten alusten aallonmuodostusominaisuuksista erilaisilla nopeuksilla tarvitaan lisää tietoa sekä veneilijöille itselleen että monille viranomaisille.

Monissa yhteyksissä on veneilyn haittoja tarkasteltaessa mainittu peräaaltojen paaskaavan kalojen mätiä ja poikasia rannalle sekä aiheuttavan vesilintupoikueiden eksymistä emostaan ja näin altistuvan esim. isojen loksien helpoksi saaliiksi (mm. Ritvanen 1976, Eloheimo 1992 jne.). Tällaiset tapaukset ovat kuitenkin harvinaisia, eikä niistä voi syyttää veneilyä sinällään, vaan muutamien veneilijöiden epäasiallista käyttäytymistä.

Lisääntyneeseen veneilyyn liittyy paitsi lisääntyvät aallokkohaitat, myös herkän saaristoluonnon rasittuminen yhä useampien veneilijöiden kuluttaessa luontoa. Saariston kulutuskestävyyden tutkiminen, veneretkeilyn rauhoittaminen aroimmilta alueilta ja veneilijöiden valistus lienevätkin oleellisempia asioita luonnonympäristön säilyttämisessä kuin joidenkin alueellisten nopeusrajoitusten ja aallokonnostattamiskiellon asettaminen.

11 LAIVA- JA VENELIIKENNETTÄ KÄSITTELEVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

Olli Madekivi
Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

11.1 Yleistä

Alusliikennettä ja sen ympäristövaikutuksia koskeva lainsäädäntö on Suomessa varsin monimuotoinen. Voimassaolevista laeista vesiliikennettä ja siitä mahdollisesti aiheutuvien haittavaikutuksien syntymistä voidaan rajoittaa lainsäädännöllisesti mm. vesilain, veneliikennelain, poliisilain, merilain, meriteiden sääntöjen ja satamajärjestyksen sekä erilaisten luonnon suojelemiseen tarkoitettujen lakien nojalla.

Toisinaan on ollut erimielisyyttä siitä, tulisiko merellä liikkumiseen soveltaa vesilakia vai merilakia. Väyläkorvaus- ja merimerkkityöryhmän mietinnössä (1988) tarkastellaan väylän käyttämistä ja sen vaikutuksia vesilain pohjalta, mutta mietintöön sisältyvän eriävän mielipiteen mukaan merilaki erityislakina syrjäyttää vesilain säännökset. Käytännössä merenkulkuun liittyvät ympäristövaikutukset kuuluvat ilmeisesti edelleen kuitenkin lähinnä vesilain piiriin ainakin tässä tutkimuksessa käsiteltävien asioiden puitteissa.

Seuraavassa käsitellään viranomaisten määräysten valossa vain sitä lain osaa, joka koskee aluksen liikkumista, liikkumisesta suoranaisesti syntyviä fysikaalisia ympäristövahinkoja sekä niiden korvausperusteita. Vesiliikennevälineistä tarkastellaan sekä laivoihin että veneisiin kohdistuvia säädöksiä. Paikallisesti mm. nopeusrajoitusten osalta on käsitelty lähinnä Saaristomeren alueen väyliä.

Vesiliikenteestä johtuvien ympäristövahinkojen vastuu- ja korvauskysymyksiä on jäljempänä tarkasteltu melko karkeasti sekä nykyisten lakien valossa että arvioimalla luonnosteltujen lakiesitysten mahdollisia seuraamuksia.

Asiaan liittyvä ajankohtaisuus ilmenee juuri tapahtuneina muutoksina vesilainsäädännön piirissä sekä ilmeisesti tänä ja ensi vuonna voimaan astuvissa uusissa laeissa. Uudet lait ovat laki ympäristövahinkojen korvaamisesta, laki ympäristövaikutusten arvioinnista sekä uusi vesiliikennelaki.

11.2 Kulkuväylät

Vesilain 1:24 §:n mukaan jokaisella on oikeus, välttämättä tarpeetonta häiriön aiheuttamista, kulkea vesistössä, missä se on avoinna. Tämän niinsanotun yleiskäyttöoikeuden nojalla mm. vesistössä kulkemisesta syntyvän aallokon aiheuttama vahinko toisen omaisuudelle on kuitenkin korvattava, vaikkei vahinko olisikaan tuottamuksellinen (VL 1:25).

Vesilain 4.luku käsittelee kulkuväyliä ja muita vesiliikennealueita. Laki vesilain muuttamisesta (N:o 646) tuli voimaan 1.9.1992 ja siinä säädettiin useista merkittävistä muutoksista, jotka koskivat juuri 4.lukua.

Uudistetun vesilain mukaan väylien perustamista koskeva päätöksenteko on nyt siirtynyt vesioikeudelle. 1a §:n mukaan *'Vesioikeus voi merenkululaitoksen hakemuksesta määrätä julkiseksi kulkuväyläksi sellaisen vesistön osan, jota on tarpeen pitää avoimena yleistä laiva- tai veneliikennettä varten. Julkinen kulkuväylä voidaan määrätä myös vesistöön, jossa on valtaväylä'*. Julkisen kulkuväylän käyttöön ottamisesta päättää 3 §:n mukaan merenkululaitos.

8 §:ssä säädetään, että vesialueen omistaja saa kulkuväylän käyttämisestä korvausta vain, jos yksityisen kalastusoikeuden käyttämiselle aiheutuu vahinkoa tai jos ammattimainen kalastus estyy tai vaikeutuu taikka jonkin oikeuden käyttämistä varten tehty laite tai rakennelma sen johdosta käy hyödyttömäksi.

8a §:n mukaan väylän kunnossapitäjän on maksettava korvaus, mikäli väylän käyttäminen ennalta arvioiden aiheuttaisi 8 §:n mukaan korvattavaa vahinkoa, haittaa tai muuta edunmenetystä.

11.3 Nopeusrajoitukset

Perinteisesti ei laivoille ole asetettu yleisiä nopeusrajoituksia. Ainoita nopeutta sääteleviä säädöksiä ovat merellä noudatettavat yleiset kulkusäännöt (merilaki, meriteiden säännöt jne.) sekä satamajärjestykset (Turun ja Porin lääninhallitus 14.4.1986).

Nopeusrajoitusten asettamiseen ja muuttamiseen liittyy usein eri intressiryhmien väliset eturistiriidat etenkin sisäsaariston ahtailla väylillä. Nopeusrajoituksista päätettäessä tuleekin huomioida mm. yhtäältä alusnopeuden merkitys mahdollisten ympäristöhaittojen syntyprosessiin ja toisaalta aluksen turvallisen kuljettamisen vaatima mininopeus.

Vesiliikennettä koskevat paikalliset nopeusrajoitukset on säädetty joko veneliikennelain tai poliisilain nojalla. Sataman vesialueella on noudatettava satamajärjestyksen mukaisia rajoituksia. Lisäksi osa nopeusrajoituksista on voitu sopia eri etujärjestöjen ja valvontaviranomaisten kesken käydyissä neuvotteluissa. Nopeusrajoituksista päättävä viranomaistaho on lääninhallitus, joka voi tehdä rajoitus- tai kieltopäätöksen mm. asianomaisen kunnan tai vesialueen omistajan esityksestä. Osittain epäselvän käytännön vuoksi nopeusrajoitusten määrittämisessä on kohdattu epäselvyyksiä, jotka ovat ilmenneet näkemyseroina etenkin Turun saariston nopeusrajoituksista.

Satamajärjestyksen mukaan on sataman vesialueella vauhti säädettävä olosuhteiden, paikan ja aluksen rakenteen mukaan niin, ettei aiheudu vahinkoa, haittaa tai vaaraa. Satamalautakunta voi kuitenkin oikeuttaa satama-alueella mm. säännöllisin kulkuvuoroin liikennöivän matkustaja-aluksen käyttämään suurempaa nopeutta kuin erikseen on määrätty. Lupa ei vapauta noudattamasta yleisen lainsäädännön määräyksiä ja hyvää merimiestapaa (Helsingin kaupunki 1990).

Veneliikennelain 3a § :ssä on säädetty, että *'lääninhallitus voi kieltää moottoriveneellä ajamisen määrääjäksi tai toistaiseksi määrätyllä vesialueella tai rajoittaa sitä, jos kieltö tai rajoitus harkitaan tarpeelliseksi luonnon tai muun ympäristön, yleisen virkistyskäytön tai kalastuksen suojaamiseksi taikka muun yleisen edun vuoksi'*. Näin ollen lääninhallituksella on mahdollisuus (ja velvollisuus) mm. nopeusrajoituksilla rajoittaa herkkien alueiden moottoriveneliikennettä.

Saman pykälän 2 momentissa tarkennetaan, että vesilaissa määritellyn yleisen kulkuväylän osalta kieltö tai rajoitus voidaan asettaa vain nopeusrajoituksena, ellei lääninhallitus erityisen painavasta syystä toisin määrää. Edelleen veneliikennelain 10 § laajentaa: *'mitä tässä laissa on säädetty moottoriveneistä, koskee soveltuvien kohdoin myös muuta koneellista vesikulkuneuvoa'*.

Turun ja Porin lääninhallituksella ja Korkeimmalla hallinto-oikeudella oli 1970-luvun lopulla näkemys siitä, voidaanko veneliikennelain mukaista määritelmää *'muu koneellinen vesikulkuneuvo'* soveltaa laivaliikenteeseen. KHO päätti kuitenkin vuonna 1981, että veneliikennelain nojalla määrättävät rajoitukset eivät ole tarkoitettu koskemaan kauppalaivoja ja autolauttoja, eikä mainittu laki sovellu käytettäväksi niihin (KHO 23.3.1981). Täten lääninhallituksen toimivalta riittää veneliikennelain puitteissa ainoastaan veneliikenteen nopeusrajoitusten määräämiseen.

Veneliikennelain soveltaminen kauppa-aluksiin on ollut epäselvää myös myöhemmin eri ministeriöiden kesken käydyissä neuvotteluissa (Kauppa- ja teollisuusministeriö 27.5.1986).

Poliisilain 11 §:n nojalla lääninhallitus voi antaa yleisen järjestyksen ja turvallisuuden ylläpitämiseksi tai palauttamiseksi alusten kulkunopeuden rajoittamista koskevia määräyksiä. Lääninhallituksen päätökset ovat muutoksenhausta huolimatta voimassa, ellei KHO toisin määrää.

Nopeusrajoitusten valvonta kuuluu pääosin poliisille, mutta nykyään myös merivartiosto osallistuu valvontaan. Turun ja Porin lääninhallituksen poliisitoimistosta kerrotaan, että pistokoeluonteinen nopeusvalvonta vesiliikenteessä muistuttaa tieliikenteen valvontaa, ja että ylinopeudet ovat harvinaisia. Nopeuksien mittaaminen tutkalla on osoittautunut kuitenkin veneiden kohdalla ongelmalliseksi ja usein joudutaan nopeusvalvonnassa turvautumaan silmämääräiseen arviointiin. Joissain tapauksissa on ainakin merivartioston nopeusvalvonta perustunut ainoastaan veneen kulkuasennon tarkasteluun, mikä ei ole riittävä peruste erikokoisten ja erityyppisten alusten nopeuden määrittämiseksi. Nopeusrajoitusten tarkoituksenmukaisuus voidaankin osittain kyseenalaistaa, mikäli valmiudet rajoitusten valvontaan eivät ole riittävät, kuten tällä hetkellä näyttää olevan.

Vesiliikennelakiin ja poliisilakiin pohjautuvien nopeusrajoitusten lisäksi eri puolella Suomea on ilmeisesti lukuisia yksityisluontoisia nopeusrajoituksia, jotka ovat vaille virallista lainvoimasta päätöstä. Sekavaa nopeusrajoituskäytäntöä korostaa vielä kirjavuus rajoitusten merkitsemisissä. Monissa tapauksissa veneilijälle saattaa jäädä täysin epäselväksi, mikä on rajoituksen sisältö ja rajoitusalueen sijainti (Murto 1993).

11.3.1 Nopeusrajoitukset Saaristomerellä

Ahvenanmaan ja Turunmaan saaristojen kauppa-alusväylien laivoja koskevista nopeusrajoituksista sovittiin 1970-luvun alusta vuoden 1985 kevääseen asti neuvotte-luissa, joissa olivat edustettuina Silja Line, Viking Line, Neste sekä kalastajajärjestöt ja saaristokunnat. Keväällä 1986 eri osapuolten käsitykset olivat kuitenkin niin etäällä toisistaan, että sopimukseen ei enää ollut mahdollista päästä (Turun ja Porin lääninhallitus 14.4.1986).

Vuoden 1985 keväällä kalastajajärjestöt sekä eräät saaristokunnat katsoivat aiheellisek-si esittää alhaisempia nopeusrajoituksia kuin viimeisissä sopimusmenettelyissä oli sovittu (Turun ja Porin lääninhallitus 14.4.1986). Koska sopimukseen nopeusrajoituk-sista ei päästy, esittivät Varsinais-Suomen ja Turunmaan kalastajaliitot sekä Rymättylän, Korppoon ja Nauvon kunnat vuonna 1986 Turun ja Porin lääninhallituk-selle nopeusrajoitusten määräämistä erälle väyläosuuksille Saaristomerellä.

Lääninhallitus harkitsi oikeaksi helmikuun 18. päivänä 1966 annetun **poliisilain 11 §:n nojalla** määrätä yleisen järjestyksen ja turvallisuuden ylläpitämiseksi alusten suurimmiksi sallituiksi nopeuksiksi 22 km/h väyläosuuksilla Naantali-Rajakari ja Kuuva-Rajakari sekä 28 km/h väyläosuudella Lilla Björnholm-Smörgrund (Turun ja Porin lääninhallitus 14.4.1986, DNo 2097 C). LH:n päätöksen mukaan rajoitukset eivät koske alle 19 nettorekisteritonnin aluksia, virka-, sairaankuljetus- ja pelastus-toimien suorittamista koskevaa liikennöintiä sekä puolustusvoimien toimintaa.

Lääninhallituksen päätöksestä valitettiin korkeimpaan hallinto-oikeuteen, joka antoi päätöksen valitukseen 4.11.1986 pysyttäen lääninhallituksen päätöksen ennallaan.

Voidaan siis vetää johtopäätös, että lääninhallitus pystyy toimivaltansa puitteissa säätämään laivaliikennettäkin koskevia nopeusrajoituksia, mutta ei veneliikennelain vaan yleistä järjestystä ja turvallisuutta ylläpitämään tarkoitetun poliisilain nojalla.

Toisaalta on veneliikennelain nojalla Turun kaupungin ympäristönsuojelulautakunnan esityksestä rajoitettu moottoriveneilyä nopeusrajoituksin sekä kielletty se kokonaan useilla kaupungin vesialueilla. Nopeusrajoitukset vaihtelevat 11:sta 46:een km/h perustuen veneliikenteen ja uimarantojen turvallisuuden parantamiseen (Turun kaupungin ympäristönsuojelulautakunta 1993).

Turun pääväylän nopeusrajoituksia on Ruissalon kohdalla vaadittu pienennettäväksi mm. Turun Pursiseuran ja Ruissalo -yhdistyksen toimesta. Nykyisen nopeusrajoituksen (16 km/h välillä Kuuvannokka-Arola) puitteissa kulkeva laivaliikenne aiheuttaa kiistämättä Ruissalon rantojen erodoitumista ja haittoja venesatamille. Vaadittuja nopeuksien pienentämisä ei ole kuitenkaan toteutettu, koska mm. kovalla tuulella alusten sortokulmat kasvavat vaarallisen suuriksi pienemmillä nopeuksilla ja tällöin aluksen ohjailu ei kapeassa salmessa ole enää turvallista.

11.4 Ympäristöhaittojen korvaaminen

Voimassa olevasta lainsäädännöstä puuttuvat yleissäännökset ympäristövahinkojen korvaamisesta. Vesilaki sisältää eräitä ympäristövahinkolajeja koskevia korvaus-

säännöksiä, mutta niitä sovelletaan vain niin sanottuihin laillisiin vahinkoihin lain lupajärjestelmän yhteydessä (Oikeusministeriö 1992). Vesilain mukaisessa lupamenettelyssä voidaan antaa lupa esim. hankkeelle, josta aiheutuu tiettyjen kiinteistöjen rantojen pilaantumista. Tällöin luvan antamisen yhteydessä määrätään ennalta korvattavaksi se rantojen pilaantumisesta aiheutuva kiinteistöjen käytön vaikeutuminen ja arvon aleneminen, mikä aiheutuu luvassa määrättävistä vesiensuojelutoimista huolimatta. Sama koskee myös esim. vesialueen kalataloudellisen tuoton alenemista (Oikeusministeriö 1992). Tällaisissa tapauksissa ei kysymys ole tahalliseen tuottamukseen perustuvasta vahingonkorvauksesta, vaan laillisen toiminnan sallittujen seurausten korvaamisesta.

Useissa tapauksissa on haittojen korvaaminen ollut ongelmallista sen vuoksi, ettei vahinkojen aiheuttajaa voida yksilöidä. Myös näkemykset aiheutuneiden vahinkojen laajuudesta ovat monesti ristiriitaisia. Saaristomeren autolauttaliikenteen ympäristövaikutuksia selvittänyt Laivaliikenteen ympäristöhaittatyöryhmä (1987) esittääkin mietinnössään, että ennenkuin korvauskysymyksiä päästään ratkaisemaan, on suoritettava selvitykset aiheutuneista haitoista ja vahingoista sekä siitä, että haitat ja vahingot ovat aiheutuneet nimenomaan lauttaliikenteestä.

11.4.1 Kalasto ja kalastus

Tällä hetkellä ei maassamme ole olemassa varsinaista lakia, jonka mukaan korvattaisiin kaloihin ja kalastukseen kohdistuvat vesiliikenteen aiheuttamat vahingot, ellei tällaiseksi katsota jäljempänä esitetty vesilain 1. luvun 25 §. Myös vesilain 4. luvun 8 §:ssä on säädetty korvausvelvollisuudesta, joka koskee mm. väylän käyttämisestä aiheutuvaa edunmenetystä kalastukselle. Kulkuväylän käyttämisestä on suoritettava korvausta vain, jos yksityisen kalastusoikeuden käyttämiselle aiheutuu vahinkoa tai ammattimainen kalastus estyy tai vaikeutuu taikka jonkin oikeuden käyttämistä varten tehty laite tai rakennelma sen johdosta käy hyödyttömäksi.

Vesilain 1 luvun 25 §:n 2 momentin mukaan korvausta ei kuitenkaan voi saada sellaisen pyydyksen osalta, joka on valtaväylällä tai yleisellä kulkuväylällä ellei vahinkoa ole aiheutettu tahallisesti tai törkeällä varomattomuudella. Samoin vesistössä kulkeva joutuu korvaamaan väylän ulkopuolella sijaitsevan merkitsemättömänkin pyydyksen vahingoittumisen, mikäli kyseessä on vesistössä kulkevan tahallinen tai törkeä varomattomuus. Saman lainkohdan 3. momentissa säädetään myös aluksen omistajan vapautumisesta korvausvelvollisuudesta, jos vahingoittunut omaisuus ei ole ollut asianmukaisessa kunnossa tai hoidossa.

Maa- ja metsätalousministeriössä laaditun muistion (Maa- ja metsätalousministeriö 1986) pohjalta käydyissä neuvotteluissa on todettu, että on olemassa kolme eri vaihtoehtoa kalavahinkojen korvaamiseksi (Laivaliikenteen ympäristöhaittatyöryhmä 1987). Ensimmäisessä vaihtoehdossa lainsäädäntöä muutettaisiin siten, että kalastajille maksettaisiin korvausta valtion budjettivaroista. Toisena vaihtoehtona on vesioikeuskäsittely ja kolmantena suora budjettirahoitus. Näistä vaihtoehdoista vain keskimääräinen pyrkii siihen, että vahinkojen aiheuttaja joutuisi korvausvastuuseen.

Ammattikalastajilla oli vv. 1974-1992 mahdollisuus hakea korvausta kalavahingoista ns. kalavahinkojen arvioimislautakunnalta. Tuolloin olivat voimassa laki (208/74) ja asetus (687/74) vesien saastumisesta ammattikalastajille aiheutuneiden kalavahinkojen

korvaamiseksi. Mm. pyydysten likaantumisen johtuvaan saaliin pienenemiseen oli mahdollista saada valtiolta korvauksia. Eräiltä osin voidaan siis osittain laivaliikenteestäkin johtuvaa pyydysten likaantumista ja 'kalavahinkojen' syntymistä korvata tällä perusteella. Tämä laki ammattikalastajille aiheutuvien vahinkojen korvauksista kumottiin kuitenkin 24.1.1992.

Oikeusministeriön asettaman väyläkorvaus- ja merimerkkityöryhmän toisena tehtävänä oli selvittää, miten merialueella väylästä ammattikalastajille aiheutuvat vahingot ja haitat voidaan korvata (Väyläkorvaus- ja merimerkkityöryhmä 1988). Työryhmän ehdotuksen mukaan julkisen väylän kunnossapitäjä olisi velvollinen korvaamaan merialueella ammattimaisesti kalastusta harjoittavalle julkisen kulkuväylän käytöstä aiheutuvat vahingot, haitat ja muut edunmenetykset. Lähtökohtana kuitenkin pidetään sitä, etteivät korvaukset tule valtion kustannettaviksi. Tämän vuoksi työryhmä ehdotti kollektiivisen vastuun toteuttamista siten, että julkisen kulkuväylän käyttäjiltä perittäisiin väylämaksuina kyseiset korvaukset. Mietinnön sisältämä ehdotus vesilain muuttamisesta ei sinällään toteutunut, mutta se lienee osaltaan vaikuttanut vuonna 1992 tehtyihin vesilain 4. luvun muutoksiin.

11.4.2 Rantaympäristö

Rantojen ja rantaan rakennettujen rakenteiden korvaamisesta säättää vesilain 1. luvun 25 §. Sen ensimmäisen momentin mukaan *'vahinko, joka aluksen törmäyksestä tai sen aikaan saamasta aallokosta, höyrylaivan kipinöistä tahi vesistöissä kulkemisesta muutoin aiheutuu toisen maalle, laitokselle, varastolle, uittolaitteelle, pyydykselle tai muulle omaisuudelle, on aluksen omistajan, ottamalla huomioon, mitä erikseen on säädetty laivanisännän vastuun rajoittamisesta sekä meripanttioikeudesta, korvattava, vaikkei vahinkoon ole syynä aluksen ohjauksessa tai hoidossa tapahtunut tuottamus'*.

Rannanomistajien kannalta on katsottu, että vesioikeusmenettely olisi oikea tie hakea korvauksia alusten aaltojen kuluttavalle vaikutukselle (Laivaliikenteen ympäristöhaittatyöryhmä 1987).

11.5 Uudet lakiesitykset

Tässä luvussa on tarkasteltu valmisteltuja lakiesityksiä, joiden pohjalta säädettävät lait on tarkoitus saada voimaan vuoden 1994 alussa. Uusia lakiesityksiä ei pyritä tässä esittelemään kokonaisuudessaan, vaan esille tuodaan lähinnä vain alusliikenteeseen ja sen ympäristövaikutuksiin sekä mahdollisiin ympäristövahinkoihin liittyvää lainsäädäntöä.

11.5.1 Ehdotus vesiliikennelainsäädännön uudistustarvetta kokonaisuudessaan sekä veneilyn turvallisuussäännösten ja ympäristönsuojeluun liittyvien säännösten osalta.

Liikenneministeriö asetti 24.1.1991 toimikunnan selvittämään veneliikennelainsäädännön uudistustarvetta kokonaisuudessaan sekä veneilyn turvallisuussäännösten ja ympäristönsuojeluun liittyvien säännösten osalta. Toimikunnan tuli tehtävää suorittaessaan ottaa huomioon merenkulkuhallituksessa valmisteltu ehdotus veneliikennelain ja -asetuksen muutoksiksi. Toimikunta otti nimekseen veneliikennetoimikunta

ja se valmisteli ehdotukset hallituksen esityksiksi vesiliikennelakeiksi ja venerekisterilakeiksi sekä asianosaisiin lakeihin liittyvät asetukset jättäen ehdotuksensa liikenneministeriölle 27.5.1992. Lait ehdotetaan tulemaan voimaan niiden hyväksymistä ja vahvistamista ensinnä seuraavan vuoden alusta, mikä on ilmeisesti 1.1.1994.

Valmisteltu vesiliikennelaki on tarkoitus säätää vesillä liikkumista koskevana lakina, jossa ei puututa vesiliikenteestä aiheutuviin päästöihin. Vesiliikennelain tarkoituksena olisi edistää vesiliikenteen turvallisuutta sekä ehkäistä vesikulkuneuvojen käytöstä luonnolle, muulle ympäristölle, kalastukselle taikka yleiselle virkistyskäytölle ja muulle yleiselle edulle aiheutuvia haittoja ja vaaroja.

Koska uuden lain piiriin tulisivat kuulumaan kaikenlaiset vesikulkuneuvot ja sitä sovellettaisiin eräiltä osin myös kauppa-aluksiin, on lain nimeksi ehdotettu vesiliikennelaki. Samalla nykyinen veneliikennelaki ehdotetaan kumottavaksi.

Nykyisen veneliikennelain nojalla ei ole voitu antaa kauppa-aluksia koskevia kieltoja rajoituspäätöksiä. Veneliikennetoimikunta toteaa, että kauppa-alusten käyttäessä samoja vesialueita ja -reittejä kuin muu vesiliikenne ei ole tarkoituksenmukaista, että samoilla vesialueilla liikkuviin vesikulkuneuvoihin sovelletaan erilaisia kulkusäännöksiä (Veneliikennetoimikunta 1992).

Veneliikennetoimikunnan esityksen mukaan uusi vesiliikennelaki tulisi koskemaan kaikkia vesillä liikkumiseen tarkoitettuja kulkuvälineitä ja laitteita. Vesikulkuneuvolla tarkoitettaisiin veteen tukeutuvaa ja vesillä liikkumiseen tarkoitettua kulkuvälinettä ja laitetta. Uusia lain piiriin luettavia vesikulkuneuvoja olisivat mm. vesiskootterit, purjelaudat ja ilmatyynyalukset. Kauppamerenkulkuun käytettäviin aluksiin on tarkoitus kuitenkin soveltaa vain niitä lain säännöksiä, joiden nojalla voitaisiin alueellisesti antaa liikkumista koskevia kieltoja tai rajoituksia.

Esityksen mukaan olisi mahdollista antaa vesikulkuneuvolla liikkumista koskevia alueellisia kielto- ja rajoituspäätöksiä. Päätösten anto olisi tarkoitus järjestää siten, että yleisiä kulkuväyliä koskevat päätökset antaisi merenkululaitos. Muiden vesialueiden osalta päätösten teko kuuluisi lääninhallituksille. Lisäksi lääninhallitus voisi antaa tiettyä vesikulkuneuvotyyppiä koskevia alueellisia kieltoja ja rajoituksia. Vesiliikennelain noudattamista koskeva ylin valvonta kuuluu esityksen mukaan liikenneministeriölle.

Lakiehdotuksen perusteluissa todetaan, että vesillä liikkujan edellytetään huolehtivan siitä, ettei vesillä liikkumisesta johdu lähiympäristölle vaaraa, vahinkoa tai haittaa. Aallokkohaittoja, melu- ja saastepäästöjä ym. vastaavia tilanteita tulee välttää. Nopeusrajoitusten säätämisellä ehkäistään veneilyn turvallisuuden edistämisen lisäksi myös aalloista rantoihin ja vesilintujen pesimiseen aiheutuvia vaikutuksia.

Edellä on mainittu, että lääninhallituksella olisi uuden lain nojalla päätösvalta antaa alueellisia kieltoja tai rajoituksia. Tällainen saattaa tulla aiheelliseksi esimerkiksi liikenteen, ympäristön ja yleisen virkistyskäytön johdosta. Myös kalastuksen tai muun elinkeinon suojaamiseksi tai yleisen edun vuoksi olisi mahdollista saada aikaan alueellinen kieltö tai rajoitus. Toimenpide voi tulla ajankohtaiseksi esim. vedessä tai veden alla suoritettavien töiden, kalanviljelylaitoksen, paikallisen lomakylän, uiton tai muiden vastaavien elinkeinotoimintojen johdosta.

11.5.2 Ehdotus laiksi ympäristövahinkojen korvaamisesta

Oikeusministeriö asetti 20.4.1988 toimikunnan valmistelemaan ympäristövahinkojen korvaamista koskevan lainsäädännön uudistamista. Toimikunnan ehdotukset uudeksi lainsäädännöksi valmistuivat keväällä 1990, minkä jälkeen lakiehdotuksen valmistelua jatkettiin komiteamietinnön (1990:17) ja siitä saatujen lausuntojen pohjalta. Hallituksen esitys (HE 165 /92) laiksi ympäristövahinkojen korvaamisesta ja laeiksi eräiden siihen liittyvien lakien muuttamisesta valmistui 18.9.1992. Lait on suunnitelmien mukaan tarkoitus saattaa voimaan 1.12.1993.

Lakiehdotuksen ensisijaisena tavoitteena ei ole ympäristövahinkojen estäminen tai torjuminen, vaan ne kuuluvat varsinaisen ympäristölainsäädännön piiriin.

Lakiehdotus perustuu tuottamuksesta riippumattoman eli ns. ankan vastuun varaan. Tämän periaatteen mukaisesti toiminnan harjoittajan on korvattava myös tahattomasti tai ilman tuottamusta aiheuttamansa vahingot - toisin kuin esimerkiksi vahingonkorvauslaissa on säädetty.

Lakiehdotuksessa ympäristövahingolla tarkoitetaan tietyllä alueella harjoitettavasta toiminnasta johtuvaa vahinkoa, jos vahinko on aiheutunut ympäristön pilaantumisesta tai muusta vastaavasta häiriöstä, joiksi luetellaan melu, ääni, säteily, valo, lämpö, haju tai muu vastaava häiriö. Edellytyksenä on, että toiminta on aiheuttanut häiriöksi kutsuttavan ympäristömuutoksen, joka viime kädessä on ollut vahingon syytä.

Häiriönä pidetään veden, ilman tai maaperän pilaantumista. Pilaantuminen tarkoittaisi esityksen mukaan veden, ilman tai maaperän ominaisuuksien haitallista laadullista muuttumista, joka voisi olla luonteeltaan fysikaalista, kemiallista tai biologista. Näiltä osin uutta lakia voitaneen tulkita myös käsittämään mm. alusten muodostaman aallokon vahingollisia vaikutuksia rantavyöhykkeen ekologiaan sekä vesistössä tapahtuvaan sekoittumis- ja sedimentoitumistapahtumiin. Kokonaan toinen asia onkin sitten se, voidaanko tämänkaltaiset vahingot osoittaa tapahtuneeksi tietyn toiminnan seurauksena, ja miten mahdolliset vahingot korvattaisiin.

Edellä mainittu aluesidonnaisuus merkitsee sitä, että yksittäisten liikennevälineiden tai niiden käytön aiheuttamat ympäristövahingot olisivat lähtökohtaisesti tämän lain ulkopuolella (Oikeusministeriö 1992). Esimerkiksi vesikulkuväylän yksittäistä käyttäjää tämä ei koskisi. Sitä vastoin kyseinen liikennöintitoiminta kokonaisuutena kuuluisi esityksen mukaan lain soveltamisalaan, jos se tapahtuu tietyllä alueella. Esityksessä on mainittu esimerkkeinä yleisen tien ja rautatien pitäjä sekä lentoaseman ja sataman ylläpitäjät, jotka toiminnanharjoittajina vastaisivat niistä vahingoista, jotka tien tai alueen käyttö sinänsä aiheuttaa. Epäselväksi ehdotuksessa jää, tulkitaanko myös esimerkiksi meriväylän ylläpitäjä vastuulliseksi väylällä toimintaa harjoittavan väylän käyttäjän aiheuttamista vahingoista. Oikeusministeriön lainsäädäntöneuvos Pekka Vihervuoren mukaan väylän ylläpitäjä on katsottava vastuulliseksi väylän käyttäjän aiheuttamista ympäristövahingoista, joihin ei kuitenkaan voitane lukea mm. aluksen aiheuttamia aallokko- ja virtausvaikutuksia sinällään. Näihin vaikutuksiin on Vihervuoren mukaan sovellettava vesilakia.

Vahingonkärsijän näyttövelvollisuutta on tarkoitus keventää siten, että riittäväksi näytöksi toiminnan ja vahingon välisestä syy-yhteydestä hyväksyttäisiin todennä-

köisyys. Esityksessä todennäköisyydellä tarkoitetaan 'korkea-asteista todennäköisyyttä, joka matemaattisesti ilmaistuna merkitsee selvästi yli 50 % :n suuruista varmuutta'.

Yhteisvastuutilanteessa vahingonkärsijä voisi vaatia korvausta koko vahingosta yhdeltä vahingonaiheuttajista, jolla puolestaan olisi takautumisoikeus muihin vahingonaiheuttajiin nähden. Yhteisvastuu koskisi vain sitä kärsityn vahingon osaa, jonka molemmat asianomaiset toiminnanharjoittajat ovat todennäköisesti aiheuttaneet.

Lakiin ehdotetaan otettavaksi säännös ympäristövahingon korvauksettomasta sietämisestä. Sen mukaan haitankärsijän tulisi korvauksetta sietää eräät kohtuullisina pidettävät häiriöt. Kohtuusharkinnassa otettaisiin huomioon erityisesti paikalliset olosuhteet ja häiriön esiintyminen vastaavissa olosuhteissa muutoin (vrt. tuulen ja laivan aiheuttama aallokko).

Nykyisen vesilain 11 luvun 2 §:n mukaan vesistöön tai sen rannalle tehdyn tai tekeillä olevan laitteen epäkuntoon joutumisesta vastaa laitteen omistaja. Ympäristövahinkojen korvaamisesta ehdotetun lain yhteydessä em. vesilain kohtaa on tarkoitus muuttaa siten, että mikäli korvattava vahinko on aiheutunut melusta, tärinästä, säteilystä, valosta, lämmöstä, hajusta tai niitä vastaavasta häiriöstä, on sovellettava lakia ympäristövahinkojen korvaamisesta.

11.5.3 Ympäristövaikutusten arviointi (YVA '92 -työryhmän mietintö)

Ympäristöministeriö asetti 9.9.1991 työryhmän, jonka tehtävänä oli selvittää ne lainsäädännölliset, hallinnolliset ja muut toimet, joita edellyttävät ympäristövaikutusten arviointia koskevan EY:ssä säädetyn direktiivin (85/337/ETY) toimeenpano ja YK:n Euroopan talouskomissiossa laaditun yleissopimuksen (E/ECE/1250) voimaansaattaminen. Edellä mainituista asiakirjoista käytetään yleisesti nimitystä YVA-direktiivi. Työryhmä otti nimekseen YVA 92 -työryhmä ja se laati ehdotuksen lainsäädäntötoimiksi hallituksen esityksen muotoon jättäen ehdotuksensa ympäristöministeriölle 23.6.1992.

YVA 92 -työryhmä ehdottaa säädettäväksi lain ympäristövaikutusten arviointimenettelystä ja tähän liittyen muutoksia eräisiin voimassa oleviin lakeihin, kuten esimerkiksi vesilakiin. Lakiehdotuksen käsittelyssä viimeistelytyön tekee sitä varten perustettu ministerityöryhmä, joka voi tehdä vielä muutoksia ehdotettuun lakiesitykseen. Ehdotettu laki oli alunperin tarkoitettu astumaan voimaan 1.1.1993, mutta aikataulusta on jouduttu joustamaan.

Esityksen mukaan ympäristövaikutusten arviointimenettely koskisi hankkeita, joilla saattaa olla merkittäviä ympäristövaikutuksia. Hanketyypit, joihin kuuluviin hankkeisiin sovellettaisiin aina arviointimenettelyä, on tarkoitus säätää tarkemmin asetuksella. Tapauskohtaisesti arviointimenettelyä sovellettaisiin myös muihin hankkeisiin, joiden ympäristövaikutukset olisivat todennäköisesti merkittäviä.

Esityksen tavoitteena on kehittää ympäristövaikutusten arviointia Suomessa lisäämällä ja parantamalla ympäristöä koskevaa tietoa suunnittelussa ja päätöksenteossa. Pyrkimyksenä on myös saada Suomen ympäristölainsäädäntö vastaamaan kansainvälisiä velvoitteita.

Hankkeen ympäristövaikutukset olisi selvitettävä arviointimenettelyssä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa osana hankkeen muuta suunnittelua. Perimmäisenä tarkoituksena on ehkäistä haitallisten ympäristövaikutusten syntyminen.

Ympäristövaikutusten selvittäminen kuuluisi ehdotuksen mukaan hankkeesta vastaavalle. Arviointimenettelyn järjestämisestä sekä siihen liittyvistä viranomais-tehtävistä vastaisivat yhteysviranomaiset, joita olisivat lääninhallitukset sekä vesi- ja ympäristöpiirit. Ympäristöministeriö ohjaisi ja kehittäisi arviointia yleisesti.

Arviointimenettelyssä laadittaisiin ympäristövaikutusten arviointiselostus, jossa esitettäisiin sekä suunnitellun hankkeen että tarkasteltujen vaihtoehtojen ympäristövaikutukset. Menettelyyn liittyy olennaisesti arviointiselostuksesta tiedottaminen sekä kuuleminen, jossa jokaisella olisi oikeus esittää mielipiteensä hankkeesta, sen ympäristövaikutuksista ja arviointimenettelystä.

Vesilain muuttamisesta esitetyssä laissa säädettäisiin vesioikeudelle annettavasta lupaa koskevasta hakemuksesta sellaista hanketta varten, johon sovelletaan ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annettua lakia. Arviointimenettelyyn saattaisivat YVA 92-työryhmän ehdotuksen mukaan tulla mm. kulkuväylät. Hanketta koskeviin vesioikeuden hakemusasiakirjoihin olisi liitettävä arviointimenettelyssä laadittu arviointiselostus, ja vesioikeus saisi myöntää hankkeelle luvan vasta sitten, kun se on saanut arviointiselostuksen.

YVA 92 -työryhmän mietintö sisältää myös ehdotuksen asetukseksi ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. Siinä on mm. lueteltu ne hanketyypit, joihin olisi sovellettava ympäristövaikutusten arviointimenettelyä. Tällaisiksi ehdotetaan mm. meriväylät, joiden kulkusyvyys on vähintään 8 metriä, sisävesiväylät, joiden kulkusyvyys on vähintään 4 metriä sekä satamat, joiden tuloväylä on vähintään edellä tarkoitetun suuruinen sekä merkittävät kanavat (Ympäristöministeriö 1992). Työryhmä on arvioinut, että edellisentyypisiä meriväyliä on 1800 km, sisävesiväyliä 810 km, satamia 30 sekä kanavia 25 kpl. On arvioitu, että vuosien 1993-1994 arviointimenettelyyn tulisi mahdollisesti kaksi hanketta, jotka kuuluvat edellä mainittuihin hanketyyppeihin (Ympäristöministeriö 1992).

Arviointimenettelyä olisi tarkoitus soveltaa vuosittain asetusluonnoksessa esitetyn hankeluettelon perusteella arviolta enintään 20 hankkeeseen. Muiden arviointimenettelyssä käsiteltävien hankkeiden lukumäärä olisi muutamia kymmeniä.

Hankkeen toteuttamista koskevat päätökset tehdään YVA:n toteuduttuakin muiden lakien nojalla. Näin mm. vesioikeus on edelleen lupapäätöksen tekevä viranomainen, mutta päätöksenteon tukena on YVA-lain mukaisen arvioinnin osuus merkittävä.

12 VESILIIKENTEN HYÖDYT JA VAHINGOT YMPÄRISTÖLLE

Luvut 12.1, 12.2, 12.2.2 ja 12.2.3

Olli Madekivi

Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

Luku 12.2.1

Olof Rönnberg, Magnus Östman ja Hans-Peter Fagerholm

Åbo Akademi, Biologian laitos

12.1 Yleistä

Alusliikenteen ympäristövaikutuksia tutkittaessa on melko yleinen lähestymistapa se, että vaikutusten sijasta käsitellään ainoastaan haittoja tai vahinkoja. Tämä on helposti ymmärrettävissä, koska jo kysymysten asettelu yleensä painottuu haittavaikutusten selvittämiseen. Useissa tapauksissa on vahinkojen esiintymistä pidetty niin itsestäänselvänä, ettei lähestymistapa lainkaan mahdollista hyötyvaikutusten olemassaoloa. Tästä on hyvänä esimerkkinä alusliikenteen vaikutukset kalataloudelle. Aiemmin on yleensä puhuttu vain kalastajien ja kalakantojen kokemista haitoista ja vahingoista, mutta mm. silakan kutemistapahtuman yhteydessä laivaliikenteen vaikutukset koetaan nykyisin joissain tapauksissa varsin positiivisiksi.

Kun pohditaan laiva- ja veneliikenteen hyötyjä ja haittoja kokonaisuutena, ei voida kieltää vesiliikenteen suurta merkitystä sekä tavaramäärän että henkilökuljetusten suhteen. Suomen ulkomaankaupasta on merikuljetusten 60 miljoonan tonnin osuus (v. 1992) noin 85 % (Merenkululaitos 1993 b) . Vuonna 1992 oli Suomen ja ulkomaiden välinen vesitse tapahtuva matkustajaliikenne noin 13 miljoonaa matkustajaa (Merenkululaitos 1993 b).

Taulukko 6. Tavaraliikenteen energiatehokkuus eri kuljetusmuodoilla (Lunden 1992).

Liikennemuoto	kWh / tonnikilometri	
Maantieliikenne	0,15 - 0,26	
Rautatieliikenne	0,24	(lauhdevoima)
	0,11	(vesivoima)
Alusliikenne	0,025 - 0,097	
	0,051	(keskiarvo)

Vesikuljetuksia pidetään muihin kuljetusmuotoihin verrattuna energiataloudellisina ja turvallisina (taulukko 6). Vesikuljetuksiin liittyvät ympäristövaikutukset ovat luonteeltaan positiivisia, mikäli ajatellaan niitä vaikutuksia, jotka syntyisivät nykyisen tavaramäärän kuljettamisesta maitse. Alusliikenne kuluttaa kuljetettavaan tavaramää-

rään verrattuna vähän polttoainetta, jolloin energiankulutus ja pakokaasupäästöt ovat pienempiä kuin muilla kuljetusmuodoilla (Lång 1992). On arvioitu, että kotimaan liikenteessä tavarankuljetus rautateitse maksaa kaksi kertaa ja maanteitse kuusi kertaa enemmän kuin vesikuljetus (Pöntynen 1993). Vuonna 1987 oli vesitiekuljetusten osuus 12 % kotimaan tavaraliikenteestä tonnikipometreittäin tarkasteltuna.

Vesiliikenteeseen liittyvistä haitoista voidaan pitää ehkä mittavimpina väylän perustamisvaiheessa suoritettavia ruoppauksia. Yleensä on kysymys ohimenevistä muutoksista, mutta ruoppauksen vaikutusta ympäristön tilaan ei pidä väheksyä. Uuden väylän käyttöön ottaminen saattaa vaikuttaa rantojen ekologisiin ja morfologisiin olosuhteisiin voimakkaasti. Mikäli väyläalue on aiemmin ollut suojaassa merenkäynniltä, ovat alusliikenteen aalto- ja virtausvaikutukset laajuudeltaan ja voimakkuudeltaan usein ennenkokemattomia.

12.2 Hyötyjen ja vahinkojen arviointi

Kuten edellä on luvussa 9.5.3 todettu, sovelletaan jatkossa YVA-menettelyä ehdotetun mietinnön mukaan mm. vähintään 8 metriä syvien meriväyliin. Näin ollen ympäristövaikutukset tulee selvittää jokaisen uuden hankkeen yhteydessä arviointimenettelyssä. Ympäristövaikutusten arviointiasiakirjojen tulee ehdotuksen mukaan sisältää mm. selostus ehdotetun hankkeen aiheuttamasta mahdollisesta ympäristövaikutuksesta, sen vaihtoehdoista sekä arvio vaikutuksen merkittävyyydestä (Ympäristöministeriö 1992). Edelleen arviointiasiakirjoista on selvittävä selostus toimenpiteistä haitallisen ympäristövaikutuksen rajoittamiseksi mahdollisimman vähäiseksi (liite 1).

Vesikuljetusten ympäristövaikutuksia voidaan tarkastella yhtäältä syntyvien haittojen ja toisaalta olemassa olevien riskien kannalta. Normaalista liikennöinnistä aiheutuvien paikallisten eroosiohaittojen ja ekologisten muutosten merkitsevyyttä voitaneen pitää vähäisenä, kun ajatellaan kokonaisuutena esim. Itämeren ekologiala tilaa ja kuormitusta. Toisaalta vesiliikenteeseen liittyy suurista volyymeistä johtuvia ympäristöriskejä, jotka voivat vaikuttaa äkillisesti koko ympäristön tasapainoon ja kehitykseen.

Perinteinen tapa arvioida hyötyjä ja haittoja on kustannus - hyötyanalysointi. Markkamääräisesti lienee turha vertailla esim. vesikuljetusten arvoa ja kuljetuksista aiheutuvia haittoja. Kustannus - hyötyanalysointi voisi sitä vastoin soveltua paremmin hypoteettiseen tilanteeseen, jossa laivojen nopeuksia muuttamalla pyritään ehkäisemään syntyviä haittoja mm. kalastajille ja rantojen omistajille. Tällöin voitaisiin verrata kuljetustapahtuman kustannuslisäystä maa- ja vesialueiden arvon nousemiseen. Haittoina voitaisiin arvioida erilaisia aluksen kuljettamiseen liittyviä lisäkustannuksia, kuten polttoainekuluja, tavara- ja henkilölastin kiireellisyyden arvottamista, satamassaoloaikojen vähenemisen merkitystä jne. Rantojen käyttökelpoisuus ja sitä myötä arvon muutokset sekä mm. kalatalouteen ja elinkeinoelämään liittyvät mahdolliset hyödyt olisivat tällöin arvioinnin toinen osakokonaisuus.

Voidaan kuitenkin todeta, että hyötyjen ja haittojen tarkastelu ja vertailu on nykyisin todellakin arvioimista vailla riittävää tutkimuspohjaista tietoa. Mikäli tarkempia arvioita hyötyjen ja haittojen merkittävyyydestä halutaan tehdä, on saatava huomattavasti lisää tietoa alusliikenteen vaikutuksista mm. kaloihin ja kalastukseen.

Joissain tapauksissa on myös vaikeata arvioida, onko jokin spesifioitu vaikutuslaji katsottava hyödyksi vai haitaksi. Erityisesti ekologiset vaikutukset ravintoketjussa saattavat olla luonteeltaan jollekin yksilölle positiivisia, toiselle taas negatiivisia.

12.2.1 Eliöyhteisöt

Laivaliikenne vaikuttaa sekä positiivisesti että negatiivisesti matalien pohjien eliöyhteisöihin:

+ Yksivuotiset rihmalevät hyötyvät väyläaaltojen mobilisoimista ravinteista; tämä näkyy etenkin rakkolevällä elävän päällyskasvuston määrän kasvuna.

+ Eräät levät ja niillä esiintyvät vesieläimet voivat laajentaa esiintymisaluettaan rannalla (mm. kallioaltaisiin) liikenteen aiheuttaman "vuorovesivaikutuksen" turvin.

- Väyläaaltojen kitka ja dynaaminen paine rantakallioita vasten pyrkii irrottamaan pohjaan kiinnittyneitä eliöitä, jolloin niiden lajiluku ja biomassa pienenee.

- Sedimentin kulkeutuminen kohti rantaa muuttaa alkuperäiset stabiilit kovan pohjan eliöyhteisöt vähemmän stabiileiksi sekayhteisöiksi.

- Biogeenisten alkuaineiden saatavuus muuttuu; sekä liian korkeat että liian alhaiset pitoisuudet vaikuttavat haitallisesti eliöiden kehitykseen.

12.2.2 Kalatalous

Alusliikenne saattaa vaikuttaa kalatalouteen muuttamalla kalojen lisääntymis- ja poikastuotanto-olosuhteita sekä ravinnonsaantia. Lisäksi vaikutukset ilmenevät muutoksina kalastuksessa.

Alusliikenteen kalataloudellisina haittoina voidaan pitää kutualueiden vähenemistä ja mädin tuhoutumista mm. veden liikkeen ja liikkuvan irtaimen materiaalin seurauksena. Toisaalta on huomattava, että esimerkiksi Saaristomeren alueella on olemassa riittävästi kalojen tarvitsemia kutualueita.

Silakan mädin on todettu tuhoutuvan erityisen helposti silloin, kun se on laskettu irralliseen kasvillisuuteen ja aallokko huuhtoo sen rannalle. Myös voimakas mekaaninen ravistelu voi tuhota kehitymässä olevaa mätiä.

Kasvillisuuspohjaisille alueille kutevan silakan ohella etenkin siian mädin on todettu olevan alttiina alusten mekaanisille vaikutuksille. Siika kutee mielellään muutaman metrin syvyydessä hiekkaan, joten erilaiset aluksesta aiheutuneet virtaukset voivat tuhota mädin liikuttaessaan hiekkaa mädin päälle.

Paikoin on todettu mm. silakan kutemisen ja poikastuotannon yhteydessä selvää hyötyäkin alusliikenteestä. Pohjavirtaukset saattavat pitää mädin elossa, koska sedimentoituva materiaali ei ehdi peittää mätiä pysyvästi. Tällainen tapaus on mahdollista mm. jokien suistoalueella, missä jokivesistön mukanaan kuljettama materiaali peittää mädin alleen, ellei esimerkiksi laivojen potkurivirtaukset huuhtelee

sedimenttiä kauemmas. Alusliikenteen vaikutukset näyttävät kohdistuvan positiivisena myös hietatokkoon, jonka poikastiheydet ovat havaintojen mukaan jopa huomattavasti suurempia väylän vaikutusalueella kuin liikenteeltä suojassa olevalla vertailualueella (vrt. taulukko 4).

Kalastusta haittaa mm. pyydysten likaantuminen, kalastustapahtuman vaikeutuminen ja talvikalastuksen ongelmat jääolosuhteiden muuttuessa. Positiivisena ilmiönä laivaliikennettä pitävät ilmeisesti ne kalastajat, jotka ovat havainneet kalaparvien seuraavan autolauttoja.

Yhteenvetona alusliikenteen kalataloudellisten vaikutusten arvioimisesta voidaan todeta, että kalastaminen väylien läheisyydessä on ongelmallista, mutta koko vesialueen (esim. Saaristomeri) kalapopulaatiohin ja saalismääriin ei vesiliikenteestä liene merkittävää haittaa sen enempää kuin hyötyä.

12.2.3 Muut vaikutukset

Uusimpana alusliikenteen ympäristöhaittana on aivan viime aikoina nostettu esille potkurivirtausten vaikutukset vesistön rehevöitymiseen. On arveltu, että potkurivirtaukset rikkovat termokliinin ja nostavat ravinteita pintakerrokseen. Tämä ilmiö saattaa olla merkittävä paitsi monilla merialueilla, mutta erityisesti vilkkaasti liikennöidyillä sisävesillä. Toisaalta voitaneen ilmiötä pitää jossain määrin myös positiivisena, mikäli potkurivirtaukset siirtävät happipitoista pintavettä hapettomaan vesikerrokseen.

Potkurivirtausten vaikutus vesistön kerrostuneisuuteen ja ravinnekiertoon on kuitenkin toistaiseksi tutkimaton kokonaisuus, joka vaatii lisäselvityksiä.

13 YHTEENVETO

Olli Madekivi

Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

Jorma Rytönen

Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Laivatekniikan laboratorio

Suomen sijaitessa ekologisesti herkän Itämeren rannalla on viime vuosina yhä enemmän kannettu huolta myös merenkulkuun liittyvistä ympäristövaikutuksista. Lähitulevaisuudessa tullaan tarvitsemaan runsaasti tietoa merenkulun ympäristövaikutuksista mm. YVA-prosesseissa. Viranomaiset ovatkin todenneet ilmeisen tutkimustarpeen merenkulkuun liittyvien ympäristövaikutusten ja vaikutusten arviointimenetelmien kehittämiseksi. Tutkimustarve ja siihen liittyvien tutkimusten suorittaminen on todettu useiden toimikuntien jättämissä virallisissa mietinnöissä ja toimikuntien toimenpideohjelmissa.

Tämä selvitys liittyy VTT:n laivatekniikan laboratorion ja Teknillisen korkeakoulun vesirakennuslaboratorion käynnistämään, alusliikenteen ympäristövaikutuksia koskevaan tutkimushankkeeseen. Työn ensisijaisena tavoitteena on ollut tarkastella alusten muodostamia aaltoja ja virtauksia sekä niiden ympäristövaikutuksia. Suoranaisten fysikaalisten vaikutusten lisäksi on tutkimuksessa tarkasteltu myös biologisia ja bioakustisia vaikutuksia, mutta alusten päästöt on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Taustan alusliikenteen ympäristövaikutusten selvittämiseksi luo merikuljetusten ja aluskoon kasvu. Merikuljetukset ovat 10 viime vuoden aikana nousseet vieni ja tuonti huomioiden 50 miljoonasta tonnista 60 miljoonaan tonniin. Henkilöliikenteessä yksistään vuoden 1992 suorite oli 13.0 miljoonaa henkeä, joista Ruotsin ja Suomen välisen lauttaliikenteen osuus oli 76,2 %. Merikuljetusten kasvun ohella tunnusomaista on ollut aluskoon kasvu, jolloin erityisesti ahtailla ja matalilla saariston väylillä on jouduttu kiinnittämään huomiota alusturvallisuusseikkojen lisäksi monimuotoisiin ympäristövaikutuksiin.

Alusten aallonmuodostus on usein ollut esillä keskusteltaessa erilaisista haitallisista vaikutuksista ympäristöön. Aallonmuodostus korostuu ajettaessa vesipoikkileikkaukseltaan rajoitetussa väylässä, jolloin suurella nopeudella voidaan aiheuttaa jopa toista metriä korkeita aaltoja. Paitsi vilkas autolauttaliikenne, myös muu vesiliikenne kuten rahtialukset, merivoimien kalusto ja lisääntynyt vapaa-ajan veneily voivat aiheuttaa haitallista aallonmuodostusta. Veneliikenteestä aiheutuvia haittoja on pyritty vähentämään erilaisin rajoituksin ja aallonmuodostuskielloin, mutta viranomaisilta puuttuu perustiedot erityyppisten alusten aallonmuodostusominaisuuksista.

Saariston herkimpien osien suojaksi on toisaalta asetettu nopeusrajoituksia, ja autolauttojen aiheuttamat aallot ovatkin Ruotsin ja Suomen välisessä liikenteessä olleet luokkaa 0.3 - 0.5 m alueilla, joissa alusnopeuksina pidetään 8 - 15 solmua. Suoritetujen aaltomittausten valossa onkin selvää, etteivät tämänkorkuiset aallot yksin selitä esimerkiksi saaristossa todettuja eroosiovaurioita, vaan koko eroosioprosessi on monimutkainen aluksen aaltojen ja virtausten aiheuttama kokonaisuus.

Autolauttojen aallonmuodostuksen haitallisuus lienee nykyään vähäisempää kuin esimerkiksi 1970 -luvulla, koska paikallisten nopeusrajoitusten lisäksi nykyaikaisten alusten runkosuunnittelu on osaltaan vaikuttanut haittojen pienenemiseen. Autolauttojen mittasuhteet ovat sitä vastoin 1970 -luvulta kasvaneet huomattavasti, ja aluskoon kasvu aiheuttaa voimakkaampien virtausten muodossa etenkin rajoitetuilla alueilla merkittävämpiä ympäristövaikutuksia.

Virtausten ja aaltojen ympäristövaikutusten arviointia vaikeuttaa monesti reunaehdoiltaan erilaisten tarkastelumenetelmien huono soveltuvuus monimuotoisiin saaristolosuhteisiin. Käytetyt mittaamenetelmät ovat usein olleet kirjavia, eikä tulosten luotettavuudesta ja virherajoista välttämättä ole selvää kuvaa. Eräitä tutkimuksia on Suomessa toteutettu laivaliikenteen vaikutuksiin liittyen, mutta yhteistä niille on se, että niistä ei voida vetää perusteltuja johtopäätöksiä sen enempää aluksen mittasuhteiden, alusnopeuden ja etäisyyden kuin mittausvyvyyden vaikutuksesta alusten aiheuttamiin virtausnopeuksiin.

Luonnossa lisäksi esiintyvät ristivaikutukset, tuuliaallot, virtaukset, vaikeuttavat alusten aiheuttamien vaikutusten todentamista ja oikeiden parametrien vaikutusten havainnointia tutkittavaan ilmiöön.

Aluskoon kasvu on tuntuvasti lisännyt imu- ja painevaikutuksia verrattuna aiemman sukupolven aluksiin. Alustyyppien suhteen indusoivat autolautat ja suuret säiliöalukset suurimmat virtaukset, kun taas nopeat ja pienemmät alukset aiheuttavat suuremmat aallot.

Suoritetuissa mittauksissa on aluksen aiheuttamien virtausnopeuksien todettu olevan rantaviivan läheisyydessä jopa 1 -2 m/s.

Alusten aiheuttamilla aalloilla ja virtauksilla on todettu sekä myönteisiä, että kielteisiä vaikutuksia väylän viereisten rantojen ja matalikkojen eliöyhteisöihin. Alusten aiheuttamasta veden pinnan voimakkaasta vaihtelusta johtuen eräät levät ja eliöt voivat laajentaa reviiriään, ja keinotekoisien aaltoilun mukanaan tuomat lisäravinteet voivat edesauttaa joidenkin populaatioiden selviytymistä.

Haitallisia vaikutuksia on voimakkaista virtauksista johtuva rantojen köyhtyminen eliölajien lukumäärän ja biomassan pienetessä sekä rannan pohjamateriaalin muuttuminen.

Kalastukselle laivaliikenne aiheuttaa rajoituksia ja ongelmia erityisesti saaristomerellä, jossa kalastus on perinteisesti tärkeä elinkeino. Laivaliikenne asettaa rajoituksia kalastukselle, eristää alueita pitämällä väylät talvisaikaan sulina jne. Kalastajat ovat lisäksi olleet huolestuneita liikenteen mahdollisista kalastoon vaikuttavista haitallisista tekijöistä.

Laivaliikenteen vaikutuksista kalastoon ei löydy kovinkaan kattavaa tutkimusaineistoa. Liikenteen vaikutuksia kalojen käyttäytymiseen on tutkittu lähinnä käytännön kalastusteknisenä ongelmana. Toisaalta tehdyt tutkimukset osoittavat, että laiva voi muuttaa kalojen käyttäytymistä väylän lähiympäristössä. Lisäksi säännöllinen laivaliikenne saattaa vaikuttaa kalakantoihin muuttamalla olosuhteita kalojen lisääntymisalueilla. Aallokon ja virtausten vaikutus kohdistuu voimakkaaimmin vesistön mataliin osiin kuten rantavyöhykkeeseen ja matalikkoihin, jotka ovat tyypillisiä kalojen lisääntymispaikkoja.

Laiva-aallokon on todettu tuhoavan silakan mätiä esimerkiksi silloin, kun mäti on laskettu irralliseen tai löyhästi kiinnittyneeseen kasvillisuuteen pohjalle ja aallokko huuhtelee tämän aineksen rannoille. Voimakkailla potkurivirtauksilla voi myös olla merkittävää vaikutusta kalastoon ja kutualueisiin.

Kutupaikkojen tuhoutumisesta voi olla seurauksena lajin yksilömäärien selvä pieneneminen alueella poikastuotannon vähetessä. Kalat voivat myös siirtyä muille lisääntymisalueille sopivan kutualueen puuttuessa.

Alusten aiheuttaman melun vaikutuksista kalastoon ei tämän tutkimuksen puitteissa juurikaan löydetty tietoja. Taustamelun vaikutuksia ja melutason muutosten vaikutuksia kalojen käyttäytymiseen on tutkittu jonkin verran. Yhtään tutkimusta taustamelun lisääntymisen vaikutuksista populaatiotasolla ei löydetty. Suurimpana melua aiheuttamana tekijänä mainitaan potkurit. Alusten lähettämä melu koostuu

verrattain alhaisista taajuuksista, 25 - 5000 Hz, jotka etenevät vedessä pitkiä matkoja vaikuttaen kalastoon pitkienkin matkojen takaa. Useat kalalajit aistivat parhaiten juuri matalia ääniä, jolloin vilkkaasti liikennöidyllä reitillä melun vaikutus on ilmeinen. Eri kalalajit aistivat melua eri tavoin eikä tutkimustulosten puuttuessa voida tällä hetkellä tehdä johtopäätöksiä vaikutusten suuruudesta puoleen eikä toiseen.

Suuren aluksen syrjäyttämän vesimassan eli imu- ja painevaikutusten on kiistatta todettu aiheuttavan herkillä rannoilla muutoksia, jotka ilmenevät esimerkiksi eroosiona. Eroosiota on tutkittu jo verrattain kauan Tukholmaan johtavien väyläreittien reunoilla, mutta myös Turun edustalla on laivaliikenteen todettu aiheuttavan mm. rantojen sortumista. Maamme väylien eroosioherkkyttä ei toisaalta ole tutkittu, eikä väylien reuna-alueita ole inventoitu ympäristövaikutusten arviointimielessä. Ruotsissa tehdyt eroosiotutkimukset tarjoavat hyvän lähtökohdan Suomessa tarvittavalle eroosiokartoitukselle. Toisaalta Ruotsissa toteutettuja tutkimuksia ei voida soveltaa kuin osittain Suomen väylien herkkyysanalysointiin, koska väylien topografia, pohjamateriaalit ja alusnopeudet eivät vastaa kuin osittain olosuhteitamme.

Alusliikenteen aiheuttama termokliinin häiriintyminen saattaa kesän kerrostuneissa olosuhteissa johtaa levätuotannon voimakkaaseen kasvuun. Ravinnepitoisen alusveden sekoittuminen aktiiviseen ja valolle alttiiseen pintaveteen voi myös aiheuttaa veden laadun heikkenemistä.

Alusliikenteen aiheuttamaa sekoittumista ei aiemmin ole välttämättä osattu yhdistää Itämeren pintavesien suolapitoisuuden kasvuun. Mikä osuus alusliikenteellä on viime vuosina yhä haitallisempina esiintyviin leväkukintoihin on kysymys, jonka selvittäminen vaatii teoreettisen tarkastelun lisäksi luonnossa suoritettavia mittauksia. Mittausten suorittaminen siten, että tuulten ja virtausten aiheuttama luonnollinen sekoittuminen voidaan minimoida mittaustuloksista edellyttää luonnonolosuhteissa suoritettavien kokeiden suorittamista vesistön ollessa kerrostuneessa tilassa.

Sekoittumis-ilmiö voi olla yksi osatekijä selvitettäessä Itämeren ravinteiden "selittämätöntä" kumpuamis-ilmiötä, ja erilaisten ympäristön kannalta myrkyllisten yhdisteiden äkillisiä paikallisia esiintymisiä.

Alusliikennettä ja sen ympäristövaikutuksia koskeva lainsäädäntö on Suomessa varsin monimuotoinen. Voimassaolevista laeista vesiliikennettä ja siitä mahdollisesti aiheutuvien haittavaikutusten syntymistä voidaan rajoittaa lainsäädännöllisesti mm. vesilain, veneliikennelain, poliisilain, merilain, meriteiden sääntöjen ja satamajärjestyksen sekä erilaisten luonnon suojelemiseen tarkoitettujen lakien nojalla. Toisinaan on esiintynyt erimielisyyttä eri lakien soveltamista merellä liikkumiseen. Lähiaikoina tulee vesilainsäädännössä tapahtumaan muutoksia, ja uusina lakeina astunee voimaan laki ympäristövahinkojen korvaamisesta, laki ympäristövaikutusten arvioimisesta sekä uusi vesiliikennelaki.

14 JATKOTUTKIMUKSET

Olli Madekivi

Teknillinen korkeakoulu, Vesirakennuslaboratorio

Jorma Rytönen

Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Laivatekniikan laboratorio

Tutkimuksen yhtenä päätavoitteena oli selvittää tarve mahdollisille jatkotutkimuksille sekä ne alueet, joille tutkimusresursseja tulisi suunnata. Esiselvitystyötä aloitettaessa ollut käsitys alusten imu- ja painevaikutusten ja potkurivirtausten selvittämisen tärkeydestä korostui. Useat selvitystyöhön osallistuneet asiantuntijat korostavatkin virtausten ja niiden vaikutusten selvittämistä, joskin vaikutusten selvittämisessä joudutaan ottamaan kantaa ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta relevanttiin tutkimus- ja analysointimenetelmään.

Yhteenvedona suoritettun tutkimuksen pohjalta todetaan jatkotutkimusten kannalta tärkeimmiksi selvitettäviksi seikoiksi:

- alusten aiheuttamat imu- ja painevaikutukset
- alusten aallonmuodostus eri olosuhteissa
- potkurivirtaukset ja niiden vaikutus vesistön ravinnekiertoon
- vedenalainen melu
- veneiden aallonmuodostusominaisuuksien selvittäminen venetyypeittäin
- eroosioherkkien ranta-alueiden kartoitus ja luokitus
- mittauslaitteiden kehittäminen ja
- vaikutusten arviointimenetelmien kehittäminen.

Alusten virtausten selvittäminen väyläalueella ja väyläaluetta reunustavilla rannoilla muodostaa jatkotutkimuksen kannalta ehkä tärkeimmän ja vaativimman kohteen. Uuden sukupolven alusten ollessa oleellisesti uppoumaltaan ja päämitoiltaan suurempia on niistä aiheutuvat virtausvaikutuksetkin suuremmat kuin aiemman sukupolven alusten. Suurten alusten aallonmuodostus tosin on edistyneen runkosuunnittelun myötä pienentynyt jonkin verran. Usein pienet ja nopeat alukset aiheuttavat suuremman aallon kuin esimerkiksi suuret autolautat. Aallonmuodostuksen tutkimisessa onkin huomiota kiinnitettävä yhä enemmän pienempiin aluksiin.

Virtausten vaikutusten selvittämiseksi tarvitaan sekä seurantatutkimuksia, että kvantitatiivisia tutkimuksia. Pitkäaikaisten muutosten selvittäminen esimerkiksi laivaliikenteen alaisissa litoraaliyhteisöissä on tehtävä, jossa myös muuttuneiden virtausolosuhteiden vaikutus levävyöhykkeen eläimistöön ja kasvistoon katsotaan oleelliseksi.

Rinnan aluksen aiheuttamien virtausten ja niiden vaikutusten selvittämisen kanssa tulee rantavyöhykkeellä suorittaa aluksen aaltojen aiheuttamien virtausten nopeusmittauksia. Tärkeänä tehtävänä on selvittää aallon indusoiman pohjavirtauksen turbulentsuutta ja erityisesti rantaan murtuvasta aallosta aiheutuva virtauskenttä ja sen vaikutukset. Samassa yhteydessä tulee suorittaa aallon korkeuden ja pituuden mittauksia sekä rannalla, että lähempänä laivaväylää. Aallonmuodostusta voidaan myös

lähestyä numeeristen tarkastelukeinojen avulla, joskin topografialtaan epäsäännöllisen merenpohjan ja rantaviivan yleistys aiheuttaa aina epätarkkuutta matemaattiseen simulointiin.

Viime aikoina on arvioitu potkurivirtausten vaikuttavan ehkäpä merkittävästikin vesistöjen rehevöitymiseen. On arveltu, että potkurivirtaukset rikkovat termokliinin ja nostavat ravinteita pintakerrokseen. Tämä ilmiö saattaa olla merkittävä paitsi monilla merialueilla, mutta erityisesti vilkkaasti liikennöidyillä sisävesillä. Potkurivirtausten vaikutus vesistön kerrostuneisuuteen ja ravinnekiertoon on kuitenkin toistaiseksi tutkimaton kokonaisuus, joka vaatii lisäselvityksiä.

Arvioitaessa alusliikenteen vaikutuksia kalastoon, ei tällä hetkellä ole käytössä luotettavaa analysointimenetelmää, tai yleensääkään selvää käsitystä alusliikenteen aiheuttamien virtausten ja aaltojen merkityksestä. Tutkimusmenetelmien ja analysointitapojen kehittäminen onkin yksi tärkeä jatkoselvitysvaihe jo pelkästään YVA-prosessin mielessä.

Kutualueiden ja väylien pohjien muutoksia seurattaessa tulee huomiota kiinnittää erityisesti aluksen potkurivirtauksiin, joiden vaikutuksista ei tällä hetkellä ole tietoa kuin todettujen satamien eroosiovaurioiden muodossa. Potkurivirtausten vaikutusten arviointi on tärkeä osa-alue myös selvitetäessä sisävesiliikenteen ympäristövaikutuksia. Etenkin nippu-uiton ja kanavissa tapahtuvan liikennöinnin potkurivirtaukset voidaan arvioida merkittäviksi. Potkurivirtausten selvittäminen luonnonolosuhteissa on erittäin vaativa ja työläs tehtävä, jolloin ao. ilmiön selvittämisessä tulee pohtia hydraulisen pienoismallin käyttöä. Mallilla voidaan myös luotettavasti selvittää aalto- ja virtausilmiöitä ilman häiritseviä tuuliaaltojen ja luonnon virtausten ristivaikutuksia.

Alusten aiheuttaman vedenalaisen taustamelun vaikutusten selvittäminen muodostaa kiintoisan ja haasteellisen tehtävän. Taustamelun ilmeisen lisääntymisen vaikutuksista ympäristöön ei kirjallisuusselvityksessä löydetty juurikaan tietoa, ja kyseinen seikka vaatii jatkoselvityksiä.

Suomen pohjoinen sijainti aiheuttaa myös pitkän kauden meriliikenteessä, jolloin joudutaan navigoimaan jäissä. Aluksen ja jään välinen vuorovaikutus voi varsinkin suojaisilla saaristoväylillä aiheuttaa aivan uuden melutason, jonka vaikutukset tulisi myös selvittää. Aluksen aiheuttaman imu- ja painevaikutuksen selvittäminen jääpeitteisenä kautena on myös ympäristövaikutusten kannalta oleellinen.

Eroosioherkkien rantojen kartoittaminen on ensisijainen tehtävä eroosio-ongelman tutkimiseksi. Vallitseva rantatyyppi Suomen merialueilla on kallioranta, eikä eroosiolle alttiita alueita liene Suomessa siinä määrin kuin Ruotsissa. Saaristossa on kuitenkin koettu eroosiohaittoja ainakin Ahvenanmaan saaristossa sekä Saaristomerellä. Suunnitellun Sandö-Örö-väylän käyttöönotto aiheuttaisi ilmeisesti myös tällä väylällä eroosiohaittoja.

Rantaprosessien tutkimisessa tulee huomiota kiinnittää uusien ja luotettavien mittauslaitteiden kehittämiseen. Useissa aiemmissa tutkimuksissa on ollut tunnusomaisesti varsin alkeelliset mittausjärjestelyt ja mittausdatan jälkikäsitteilyn huonot mahdollisuudet. Rantaprosessiin liittyvien prosessien havainnoinnissa tarvitaankin käytännöllisiä mittalaitteita, jolloin saavutetaan varmempi pohja keskusteluille esimerkiksi niistä toimenpiteistä, joilla vähennetään havaittuja haittoja.

Veneiden peräaaltovaikutuksista ja myös aallonmuodostuksesta sinänsä on toistaiseksi olemassa vain vähän tutkittua tietoa. Erityyppisten alusten aallonmuodostusominaisuuksista eri nopeuksilla tarvitaan lisää tietoa sekä veneilijöille itselleen että monille viranomaisille. Tällä hetkellä tehdään mm. päätöksiä veneiden aallon nostattamis- ja nopeusrajoituksista ilman, että tiedetään ao. tilanteissa veneiden aallonmuodostuksesta mitään.

Onnistuneen jatkotutkimusprojektin kannalta olisi tärkeää, että hanke suoritetaan yhteistyössä eri osa-alueiden asiantuntijoiden kanssa. Yhteistyön kannalta on epäilemättä eduksi, että tutkimushankkeessa käytetään hyväksi ruotsalaisten rantaeroosiotutkijoiden pitkäaikaisia kokemuksia rantaprosesseista. Jatkotutkimushankkeen rahoituksen järjestelyt ja hankkeen toteuttaminen vaatii myös viranomaisten ja liitännäistahojen puolelta voimakasta yhteistyöhalua ja pyrkimystä ympäristövaikutusten eri tekijöiden selvittämiseen.

KIRJALLISUUS

- Aglen, A. & Misund, O.A. 1990. Swimming behaviour of fish schools in the North Sea during acoustic surveying and pelagic sampling trawling. 22 pp. Copenhagen, ICES Council meeting 1990.
- Bannerot & Austin 1983. Using frequency distribution of CPUE to measure fish stock abundance. Trans.am.Fish.Soc. 112:608-617.
- Bergh, H. & Magnusson, N., 1987. Propeller erosion and protection methods in ferry terminals in the port of Stockholm. P.I.A.N.C Bulletin no. 58, . S. 112 - 120.
- Bhowmik, N. et al. 1982. Waves Generated by River Traffic and Wind on the Illinois and Mississippi Rivers. University of Illinois. Water resources center, . Research Report 167. 90 s.
- Blaauw, H. G. & van de Kaa, E. J., 1978. Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of manoeuvring ships. 7th int. harbour congress, . 12 s.
- Blaxter, J.H.S. & Hoss, D.E. 1981: Startle response in herring: The effects of sound stimulus frequency, size of fish and selective interference with the acoustico-lateralis system. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 61: 871-879.
- Blaxter, J.H.S. & Batty, R.S. 1985a: Herring behaviour in the dark: Responses to stationary and continuously vibrating obstacles. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 65: 1031-1049.
- Blaxter, J.H.S. & Batty, R.S. 1985b: The development of startle responses in herring larvae. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 65: 737-750.

- Blaxter, J.H.S. & Batty, R.S. 1987: Comparisons of herring behaviour in the light and dark: changes in activity and responses to sound. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 67: 849-860.
- Brydsten, L. 1985. Om stränder - processer, material och former. Umeå Universitet, Geografiska Institutionen (GERUM1) .
- Buerkle, U. 1969: Auditory masking and the critical band in Atlantic cod, *Gadus morhua*. - J. Fish. Res. Board Can. 26: 1113-1119.
- Cederwall, K. & Werner, G. 1988. Miljöpåverkan av fartygstrafik i skärgård. Projektplan och ansökan, Kungliga Tekniska Högskolan, Institutionen för vattenbyggnad.
- Chapman, C.J. 1975: The hearing capacities of fish. - In: Schuijff, A. & Hawkins, A.D. (eds.), Aquaculture and Fisheries Science: Symposium on Sound Reception in Fish. Elsevier, Amsterdam.
- Chapman, C.J. & Sand, O. 1974: Field studies of hearing in two species of flatfish *Pleuronectes platessa* (L.) and *Limanda limanda* (L.) (Family Pleuronectidae). - Comp. Biochem. Physiol. 47: 371-386.
- Chapman, C.J. & Hawkins, A.D. 1973: A Field Study of Hearing in the Cod, *Gadus morhua*. - J. Comp. Physiol. 85: 147-167.
- Chapman, C.J. 1964: Importance of mechanical stimuli in fish behavior, especially to trawls. - In: Modern Fishing Gear of the World 2. Fishing News (Books) Ltd., London.
- Daleke, O., Hedström, H. & Nissar, K. 1989. Fartygstrafikens miljöeffekter i skärgården. Stranderosion. Kungliga Tekniska Högskolan, Institutionen för vattenbyggnad. Examensarbete nr 303.
- Dijkgraaf, S. 1952: Über die Schallwahrnehmung bei Meeresfischerei. - Zeitschrift vergleichende Physiologie 34: 104-122.
- EffJohn. 1990. Rödkobbsleden. Miljökonsekvensbeskrivning.
- Eloheimo, K. 1992. Veneily ja sen ympäristövaikutukset. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 101 - sarja A.
- Fagerholm, H-P. 1978. The effects of ferry traffic (artificial wave action) on the rocky shore macrofauna in the southern Åland archipelago in the northern Baltic. 2. The Fucus zone (a quantitative study). Kieler Meeresforsch. Sonderh. 4:130-137.
- Fagerholm, H.-P. 1975. Färjtrafikens inverkan på farledsstrandens makrofauna i ett skärgårdsområde på Södra Åland. Huso Biol. Stat. medd., 16, p. 5-27.
- Fagerholm, H-P. 1975. The effects of ferry traffic on the rocky shore macrofauna in the southern Åland archipelago: 1. The Cladophora zone. Merentutkimuslait. Julk./Havs-forskningsinst. Skr. 239: 331-337.

- Fagerholm, H-P., O. Rönnerberg, M. Östman & J. Paavilainen 1991. Remote sensing assessing artificial disturbance of the thermocline by ships in archipelagoes of the Baltic Sea with a note on some biological consequences. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium Digest* 2:377-380.
- Fay, R.R., Ahroon, W.A. & Orawski, A.A. 1978: Auditory masking patterns in the goldfish (*Carassius auratus*): Psychophysical tuning curves. - *J. Exp. Biol.* 74: 83-100.
- Fay, R.R. & Popper, A.N. 1980: Structure and Function in Teleost Auditory Systems. - In Popper, A.N. & Fay, R.R. (eds.), *Comparative Studies of Hearing in Vertebrates*. Springer-Verlag, New York, pp. 3-42.
- Fay, R.R. 1978: Sound detection and sensory coding by the auditory systems of fishes. - In Mostofsky, D.I. (ed.), *The Behavior of Fish and Other Aquatic Animals*. Academic Press, New York. pp. 197-231.
- Fine, M.L., Winn, H.E. & Olla, B.L. 1977: Communication in fishes. - In Sebeok, T.A. (ed.), *How Animals Communicate*. Indiana Univ. Press, Bloomington, pp. 472-518.
- Fish, M.P. 1954: The character and significance of sound production among fishes of the western North Atlantic. - *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.* 14: 1-109.
- Fish, M.P., Kelsey, A.S. & Mowbray, W.H. 1952: Studies on the production of underwater sound by North Atlantic coastal fishes. - *J. Mar. Res.* 11: 180-193.
- Freon, P., Geolotto, F. & Soria, M. 1990. Evaluation of the influence of vessel noise by night on fish distribution as observed using alternately motor and sails aboard a survey vessel. 15 pp. Copenhagen, ICES Council meeting 1990.
- Freytag, G. 1964: Bio-acoustical detection of fish: possibilities and future aspects. - In: *Modern Fishing Gear of the World 2*. Fishing News (Books) Ltd., London.
- Friman, H., 1989. Autolauttojen aiheuttamat virtaus- ja vedenkorkeusmuutokset Turun sataman ja Pukinsalmen alueella. Saaristomeren tutkimuslaitos, tutkimusraportti.
- Friman, H., 1989. Autolauttaliikenteen vaikutus vesimassaan ja rantoihin Etelä-Airistolla; Pro gradu tutkielma. Turun Yliopisto, maantieteen laitos. 79 s.
- Fuehrer, M. et.al., 1981. Criteria for dimensioning the bottom and slope protections and for applying the new methods of protecting navigation canals. P.I.A.N.C. 25th Congress, Edinburgh, S. 29 - 50.
- Fuehrer, M., Pohl, H. & Römish K., 1987. propeller jet erosion and stability criteria for bottom protections of various constructions. P.I.A.N.C. Bulletin no. 58, s. 45 - 55.
- Granath, L. 1990. Preliminära forskningsresultat rörande farledsnära stränder. Stockholms universitet. Naturgeografiska institutionen.

- Granath, L. 1991. Farledsstränder i Stockholms skärgård. Material och erosionsskador. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 1991:12.
- Granath, L. 1989. Kartläggning av erosionskänsliga stränder längs Rödkobbsleden. Stockholms universitet. Naturgeografiska institutionen, forskningsrapport 78.
- Granath, L. 1990. Radarsynkron ekolodning. Ett nytt system för batymetrisk kartläggning och bottenmaterialundersökning. Stockholms universitet. Naturgeografiska institutionen, forskningsrapport 79.
- Granath, L., 1992. Farledsstränders erosionskänslighet. Inventering av strandtyper och skador i Stockholms skärgård. Länsstyrelsen i Stockholms län, rapport 1992:10.
- Granath, L. 1991. Förändringar av stränder i Stockholms skärgård. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 1991:11.
- Hamill, G. A., 1988. The scouring action of the propeller jet produced by a slowly manoeuvring ship. P.I.A.N.C. Bulletin , no. 62.S. 85 - 110.
- Hammerfeldt, I. & Nohrborg, M. 1991. Vattenrörelser och materialsuspension förorsakade av fartyg i farled. Examensarbete i vattenbyggnad, nr 340, Kungliga Tekniska Högskolan.
- Harlow, E. H., 1992. Harbour Planning and Design. Handbook of Coastal and Ocean Engineering. Vol 3. 1340 s.
- Hawkins, A.D. & Myrberg Jr, A.A. 1983: Hearing and sound communication under water. In: Lewis, B.: Bioacoustics, A Comparative Approach. Academic Press, London, pp. 347-405.
- Hawkins, A.D. & Johnstone, A.D.F. 1978: The hearing of the Atlantic Salmon, *Salmo salar*. - J. Fish Biol. 13: 655-673.
- Hawkins, A.D. 1986: Underwater sound and fish behaviour. - In: Pitcher, T.J. (ed.): The Behavior of Teleost Fishes. Baltimore, pp. 114-151.
- Hawkins, A.D. & Chapman, C.J. 1975: Masked auditory thresholds in the cod *Gadus morhua* L.. - J. Comp. Physiol. 103A: 209-226.
- Helsingin kaupunki / Ympäristölautakunta. 1992. Veneliikennelain mukainen rajoitus Ramsinsalmeen (aallokon nostattamiskielto). Toimituskirja; ote pöytäkirjasta 16.6.1992, ote 11, 353 §.
- Hernejärvi, P. 1985. Laivaliikenteen vaikutus kalastukseen väyläosuudella Airisto-Houtskari. Turun yliopisto, biologian laitos.
- Helsingin kaupunki. 1990. Helsingin kaupungin satamajärjestys.
- Helsingin kaupungin ympäristökeskus. 1992. Veneliikenteen nopeusrajoitukset Helsingin vesialueilla 1.9.1992 alkaen.

- Herbich, J. B., 1992. Dredged Navigational Channels. Handbook of Coastal and Ocean Engineering, vol 3. , 1340 s.
- Herbich, J. B., et al., 1984. Seafloor Scour. Design guidelins for ocean founded structures. U.S.A., 320 s.
- Hering, G. 1968: Avoidance of acoustic stimuli by the herring. - ICES, C.M. 1968/H:18.
- Hochstein, A. B. & Adams, C. E., 1989. Influence of Vessel Movements on Stability of Restricted Channels. J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 115, No. 4, . S. 444 - 465.
- Hughes, B. A., Surface Wave Wakes and Internal Wave Wakes Produced by Surface Ships. 16th Symp. on Naval Hydrodynamics. S. 1 - 16.
- Håkanson, L. & Kulinski, I., & Kvarnäs, H. 1984. Vattendynamik och bottendynamik i kustzonen Umeå universitet / Statens naturvårdsverk.
- Hägglom, A. 1990. Miljön i farledszoner. En översikt. Miljövårdsenheten. Länsstyrelsen i Stockholm.
- Ishioka, H., Hatakeyama, Y., Sakaguchi, S. & Yajima, S. 1986: The Effect of Sound Stimulus on the Behavioral Disturbance of Red Sea Bream, *Pagrus major*. - Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. 20: 59-71.
- Jehl, J.R. Jr., White, M.J. & Bond, S.I. 1980: Effect of sound and shock waves on marine vertebrates: an annotated bibliography. - U.S. Fish & Wildl. Serv. Biol. Serv. Pgm. FWS/ OBS-80/02. 6 pp.
- Juopperi, A. 1987. Matkustajalaivojen aiheuttamat virtaukset ja vedenpinnan korkeusvaihtelut Houtskarinn eteläpuolella. Maantieteen pro gradu -tutkielma, Turun yliopiston maantieteen laitos.
- Jurgensen, C. 1989. Entrainment introduced by piers, dams, and ships in a stratified channel flow. Tech. Univ. of Denmark, Lyngby.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 1986a. Laivaliikenteen aiheuttamia haittoja Turunmaan ja Ahvenanmaan saaristossa koskeva neuvottelu Kauppa- ja teollisuusministeriössä. Neuvottelumuistio 27.5.1986.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 1986b. Laivaliikenteen aiheuttamia haittoja Turunmaan ja Ahvenanmaan saaristossa koskeva neuvottelu Kauppa- ja teollisuusministeriössä. Neuvottelumuistio 1.9.1986.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 1986c. Laivaliikenteen aiheuttamia haittoja Turunmaan ja Ahvenanmaan saaristossa koskeva neuvottelu Kauppa- ja teollisuusministeriössä. Neuvottelumuistio 6.10.1986.

- Kautsky, H. 1989. Eventuell påverkan på de grunda bottnarnas växt- och djursamhällen längs en påtänkt färje-farled i Stockholms skärgård. Manusutkast för intern bruk. Stockholms universitet, Zoologiska institutionen.
- Korkein hallinto-oikeus. 1981. Päätös vesiliikenteen nopeusrajoitusta koskevassa valitusasiassa. Annettu Helsingissä 23.3.1981. KHO :n taltio n:o 1644, Dn:o 3871/31/80.
- Kääriä, J. & Madekivi, O. (siht.). 1992. Alusliikenteen ympäristövaikutuksien tutkimusta käsittelevä neuvottelu Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimistossa. Kokouspöytäkirja 1.10.1992.
- Laivaliikenteen ympäristöhaittatyöryhmä. 1987. Laivaliikenteen ympäristöhaittatyöryhmän muistio. Kauppa- ja teollisuusministeriön asettaman ad hoc -työryhmän muistio 30.4.1987.
- Lewis, E. V. (Editor) 1988, Principles of Naval Architecture, Second Revision, vol II, 327 s.
- Liikenneministeriö. 1992. Veneliikennetoimikunnan mietintö. Komiteamietintö 1992:27. Valtion painatuskeskus.
- Liikenneministeriö. 1991. Liikenne 2000. Komiteamietintö 1991:3. Valtion painatuskeskus.
- Liiketaloustieteellinen tutkimuslaitos. 1991. Veneilyn taloudelliset vaikutukset. Helsinki.
- Ljungberg, L. 1981. Strand- och bottenerosion vid farleder i Stockholms skärgård. Stockholms universitet, Geovetarlinjen (intern rapport).
- Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys. 1989. Kihdin-Isokarin väylän ympäristöselvitykset. Turku.
- Lundén, K. 1992. Laivaliikenteen ympäristöpäästöt. (Turun yliopiston Merenkulkualan koulutuskeskus) Liikenneministeriön julkaisuja 27/92. Helsinki.
- Lundén, K. 1992. Selvitys veneliikenteen ympäristöpäästöistä. Tutkimussuunnitelma, Turun yliopiston Merenkulkualan koulutuskeskus.
- Lång, R. 1992. Alusliikenne. Julk.: Äijö, H., Siivola, L. & Vakkilainen, P. (toim.). Hyödyn ja vahingon arviointi vesitaloudessa. Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden laboratorio.
- Länsstyrelsen i Stockholms län. 1990. Utdrag ur länsförfattningen 1990:1 punkt 190 gällande fartbegränsningsföreskrifter i Furusunds och Sandhamnslederna. Länsförfattning 1990:1 pt 190.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 1986. Laivaliikenteen kalastukselle aiheuttamien vahinkojen ja haittojen korvaaminen. Muistio 1.10.1986.
- Madekivi, O. (siht.) 1992. Laivaliikenteen ympäristövaikutusten tutkimusta käsittelevä neuvottelu Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimistossa. Kokousmuistio 3.9.1992.

- Madekivi, O. (siht.) 1992. Keskustelutilaisuus alusliikenteen aiheuttamien ympäristöhaittojen tutkimuksen käynnistämiseksi VTT:n laivatekniikan laboratoriossa. Kokousmuistio 18.6.1992.
- Madekivi, O. & Rytönen, J. 1992. The environmental effects of marine traffic - Aspects of studying shipborne waves and currents. Seminaariesitelmä, 'Fartygstrafikens miljökonskvenser', Mariehamn 1.-2.12.1992. Teknillinen korkeakoulu / Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Madekivi, O. & Rytönen, J. 1992. Alusliikenteen ympäristövaikutukset. Tutkimussuunnitelma, Teknillinen korkeakoulu / Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Magnusson, T. & Willman, P. 1983. Probleminventering och analys av erosionsskador i farleder i Stockholms skärgård. Examensarbete vid KTH inst. för vattenbyggnad nr 262.
- Magnusson, L. 1990. Flygbildningstolkning av erosionsskadad strand. Examensarbete på geovetarlinjen, Stockholms universitet, Naturgeografiska institutionen. (Länsstyrelsen i Stockholms län, rapport 5/1990).
- Matusiak, J., Merihydrodynamiikka / aaltovastus. Teknillinen korkeakoulu, laivatekniikan laboratorio. 24.3.1993. 11 s.
- Mazunder, B. S. et al., 1993. Turbulence in Rivers due to Navigation Traffic. J. of Hydraulic Eng., vol. 119, No. 5 S. 581 - 597.
- Merenkukkuhallitus. 1988. Meriväyläohjelma 1988-1997. Helsinki.
- Merenkukkuhallitus. 1993. Väyläohjelma 1993-2002. Tiivistelmä, Merenkukkuhallitus, väyläosasto.
- Merenkukkulaitos. 1993 a. Kotimaan vesiliikenne 1992. Merenkukkulaitoksen tilastoja 4/1993.
- Merenkukkulaitos. 1993 b. Meriliikenne Suomen ja ulkomaiden välillä 1992. Merenkukkulaitoksen tilastoja 3/1993.
- Merivoimien esikunta. 1993. Merivoimien alusten aiheuttamat "keinutusvauriot" 1990 -1992. Merivoimien esikunta, Operatiivinen osasto, Merenkukukutoimiala. Julkaisematon tiedote. Helsinki.
- Misund, O. A. 1990. Sonar observations of schooling herring: school dimensions, swimming behaviour, and avoidance of vessel and purse seine. Developments in fisheries acoustics: a symposium held in Seattle, 22-26 June 1987. Rapp. P.-V. Reun. Ciém.; 189, p. 135-146.
- Moulton, J.M. & Backus, R.H. 1955: Annotated referencies concerning the effects of man-made sounds on the movements of fishes. - Maine Dept. of Sea and Shore Fisheries, Fish. Circ. 17: 1-7.
- Moulton, J.M. 1960: Swimming sounds and the schooling of fishes. - Biol. Bull. 119: 210-223.

- Murto, M. 1993: Tarkoitettu noudatettaviksi ? Artikkelit VENE -lehdessä 9/93.
- Myrberg, A.A. 1981: Sound Communication and Interception in Fishes. - In Tavolga, W., Popper, A.N. & Fay, R.R. (eds.), *Hearing and Sound Communication in Fishes*. Springer-Verlag, New York. pp. 395-452.
- Norrbin, N. 1990. Fartygsgenererade vattenrörelser i en färjetrafikled. SSPA Maritime Consulting, Publ i "Miljökonsekvensbeskrivning för Rödkobbsleden. EffJohn.
- Nordiska ministerrådets Skärgårdsprojekt. 1990. Båtlivet och dess inverkan på skärgården. Veneily ja sen vaikutus saaristoon. Skärgårdsprojektet, expertgruppen för båtliv 1990:1.
- Oikeusministeriö. 1992. Hallituksen esitys Eduskunnalle laiksi ympäristövahinkojen korvaamisesta ja laeiksi eräiden siihen liittyvien lakien muuttamisesta. Hallituksen esitys 165.
- Oikeusministeriö. 1988. Vesilaki. Lakikokoelma , Valtion painatuskeskus.
- Oikeusministeriö. 1992. Laki vesilain muuttamisesta. N:o 646, annettu Helsingissä 20.7.1992.
- Olsen, K. 1970: Influence of vessel noise on behavior of herring. - FAO Tech. Conf. on Fish Finding, Purse Seining and Aired Trawling (Reykjavik 24.-30.5.1970), FFI: FF/70/63. 7 pp.
- Olsen, K. 1981: The significance of fish behavior in the evaluation of hydroacoustic survey data. - ICES, C.M. 1981/B:22. 25 pp.
- Olsen, K., Angell, J., Pettersen, F. & Loevik, A. 1983. Observed fish reactions to a surveying vessel with special reference to herring, cod, capelin and polar cod. Selected papers of the ICES/FAO symposium on fisheries acoustics, Bergen, Norway. 21-24. June 1982, p. 131-138.
- Ona, E. & Godoe, O. R. 1990. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling. Developments in fisheries acoustics: a symposium held in Seattle 22.-26. June 1987. Rapp. P._V. Reun. Ciém. 189, p. 159-166.
- Ona, E. & Toresen, R. 1988. Reactions of herring to trawling noise. 8 pp. Copenhagen, ICES Council meeting 1988 (Collected papers).
- Oulasvirta, P., J. Rissanen & R. Parmanne 1985. Spawning of Baltic herring (*Clupea harengus* L.) in the western part of the Gulf of Finland. Finnish Fish. Res. 5, p. 41-54.
- Rajasilta, M. 1982. Laivaliikenteen vaikutukset kaloihin ja kalastukseen Saaristomerellä. 73 p. Turun yliopiston Biologian laitoksen julkaisuja n:o 4.
- Pyökäri, M. 1986. Relation of grain-size distribution to sediment transport in shore lines, SW Finnish Archipelago. Annales Academiae Scientiarum Fennicae A, III, 141. 34 pp, Helsinki.

- Pöntynen, E. 1993. Suomi hukkaa kolme miljardia maantiekuljetuksiin. Artikkelit Tekniikka & Talous -lehdessä nro 18, 22.4.1993.
- Rajasilta, M. 1982. Laivaliikenteen vaikutukset kaloihin ja kalastukseen saaristomerellä. Turun yliopiston biologian laitoksen julkaisuja nro 4, Turku.
- Rajasilta, M., Eklund, J., Kääriä, J. & Ranta-aho, K. 1989. The deposition and mortality of the eggs of the Baltic herring, *Clupea harengus membras* L., on different substrates in the south-west archipelago of Finland. J. Fish. Biol. 34, p. 417-427.
- Richardson, W.J., Greene, C.R., Hickie, J.P. & Davis, R.A. 1983: Effects of offshore petroleum operations on cold water marine mammals - A literature review. - American Petroleum Institute, Washington. Report no. 4370, pp. 1-247.
- RIL 123, Vesirakenteiden suunnittelu. Suomen rakennusinsinöörien liitto, Helsinki, 1979.
- Rytkönen, J. 1992. Environmental Effects of Marine Transportation in Finland. Artikkelit Maritime Research News 2/1992 -julkaisussa. Maritime Institute of Finland.
- Rönnerberg, O. & Östman, T. 1989. Blåstång som indikator på miljöeffekter av sjötrafik i Ålands skärgård. Forskningsrapport (mellanrapport) till Nordiska ministerrådets Skärgårdsprojekt. Åbo Akademi, Institutionen för Biologi.
- Saaristomeren laivasto. 1993. Saaristomeren laivaston merenkulkukäsky purjehduskaudelle 1993. Käsky 1691/Db, Saaristomeren laivasto, Operatiivinen osasto 27.4.1993.
- Rönnerberg, O. 1981. Traffic effects on rocky-shore algae in the Archipelago Sea, SW Finland. Acta Academiae Aboensis, ser.B, vol.41, nr.3. 86 pp. Åbo.
- Rönnerberg, O. 1975. The effects of ferry traffic on rocky shore vegetation in the southern Åland archipelago. Merentutkimuslaitoksen Julk./Havsforskningsinst. Skr. 239, p. 325-330.
- Rönnerberg, O., T. Östman & K. Ådjers 1991. *Fucus vesiculosus* as an indicator of wash effects of ships' traffic. Oecologia 17, Suppl.1: 213-222.
- Rönnerberg, O., T. Östman & K. Ådjers 1992. Effects of ferry traffic on the metal content of *Fucus vesiculosus* in the Åland archipelago, northern Baltic Sea. Acta Phytogeogr. Suec. 78:95-99.
- Schwarz, A.L. 1985: The behavior of fishes in their acoustic environment. - Env. Biol. Fish. 13: 3-15.
- Schwarz, A.L. & Greer, G.L. 1984: Responses of Pacific Herring, *Clupea harengus pallasi*, to Some Underwater Sounds. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 1183-1192.
- Shiskova, E.V. 1958: Concerning the reactions of fish to sounds and the spectrum of trawler noise. - Ryb. Khoz. 34: 33-39.
- Sjöfartsverket. 1980. Vågmätningar i Stockholms skärgård. Sjöfartsverket.

- Sjöfartsverket. 1990. Sjöfartens miljöeffekter - En inventering med åtgärdsförslag. Sjöfart sinspektionen, Fartygstekniska sektionen.
- Skogö, I. & Persson, M. 1992. Färjor och farleder. Statens offentliga utredningar (SOU 1992:56), Stockholm.
- Soerensen, R. M., 1967. Investigation of Ship-generated waves. J. of the waterways and harbour Division, vol 93, no. WW1.
- Sorokin, M.A. 1988: Directional hearing of clupeid fishes. - Mar. Biol., Vladivostok. 1988 no 4: 42-47.
- Sorokin, M.A. 1989: Обнаружение рыбами акустических сигналов в шуме. - Biologitseskie Nauki 1989 no 6: 35-40.
- Sorokin, M.A., Donskoi, S.V. & Lebedeva, A.N. 1988: Sound perception in herring. - Mar. Biol., Vladivostok. 1988 no 2: 34-40.
- Sorokin, M.A. 1986: Направленный слух у камбал. - Biologitseskie Nauki 1986 no 8: 43-47.
- Srivastava, R.K., Brown, J.A. & Allen, J. 1989. Behaviour of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under turbulent conditions in cages. Proceedings of the annual meeting 1989, Aquaculture Association of Canada. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 89 (3), p. 34-36.
- Steinberg, J.C., Cummings, W.C., Brahy, B.D. & MacBain, J. 1965: Further bio-acoustic studies off the west coast of North Bimini, Bahamas. - Bull. Mar. Sci. 15: 942-963.
- Ström, K.-J. 1978. Laivojen aiheuttamien aaltojen vaikutus kalastajien pyydyksiin. Diplomityö, Teknillisen korkeakoulun rakennusinsinööriosasto, Helsinki.
- Tavolga, W.N. & Wodinsky, J. 1963: Auditory Capacities in Fish. Pure Tone Thresholds in Nine Species of Marine Teleosts. - Bulletin of the American Museum of Natural History 126: 177-239.
- Tavolga, W.N. 1974: Application of the concept of levels of organization to the study of animal communication. - In: Krames, L., Pliner, P. & Alloway, T. (eds.), Nonverbal Communication. Plenum Press, New York, pp. 51-75.
- Tavolga, W.N. 1981: Retrospect and prospect - listening through a wet filter. - In: Tavolga, W.N., Popper, A.N. & Fay, R.R. (eds.), Hearing and Sound Communication in Fishes. Springer-Verlag, New York.
- Tuominen, H. 1979. Kevytveneliikenteen aiheuttamien potkurivirtojen ja peräaaltojen vaikutukset pohjasedimentteihin ja ympäröivään veteen Saaristomeren alueella. Pro gradu -tutkielma, Turun yliopiston geologian ja maantieteen laitos.
- Turun kaupungin ympäristönsuojelulautakunta. 1993. Veneliikenteen nopeusrajoitus- ja kieltoalueet Turussa.

- Turun ja Porin lääninhallitus. 1986. Aloite valtioneuvostolle laivojen muodostamien aaltojen ja niiden vaikutusten tutkimiseksi. Turun ja Porin LH 14.4.1986, Dno 234 A.
- Turun ja Porin lääninhallitus. 1986. Laivaliikenteen aiheuttamia haittoja Turunmaan ja Ahvenanmaan saaristossa käsittelevä kokous. Kokousmuistio 10.11.1986.
- Turun ja Porin Lääninhallitus. 1986. Muistio laivaliikenteen nopeusrajoituksista. Turku 14.4.1986.
- Turun ja Porin lääninhallitus. 1986. Päätös laivaliikenteen nopeusrajoituksista väyläosuuksilla Naantali-Rajakari, Kuuva-Rajakari ja Lilla Björnholm-Smörgrund. Turun ja Porin LH 14.4.1986, Dno 2097 C.
- Turun kaupungin ympäristönsuojelulautakunta. 1991. Veneliikenteen nopeusrajoitus- ja kieltoalueet Turussa.
- Turun kaupungin ympäristönsuojelulautakunta. 1993. Veneliikenteen nopeusrajoitus- ja kieltoalueet Turussa.
- Valinsky, W. & Rigley, L. 1981: Function of Sound Production by the Skunk Loach *Botia horae* (Pisces: Cobitidae). - Zeitschrift für Tierpsychologie 55: 161-172.
- Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 1977. Waves generated by the GTS FINNJET on the beach of Kellenhusen. VTT:n laivatekniikan laboratorion tutkimusselostus N:o A 7551/77.
- Veneliikennetoimikunta. 1992. Veneliikennetoimikunnan mietintö. Liikenneministeriön asettaman toimikunnan ehdotus uudeksi vesiliikennelaiksi ja venerekisterilaisiksi. Komi-teamietintö 1992:27 /Liikenneministeriö.
- Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 1990. Alusten aiheuttama aallokko ja takaisinvirtaus Kihdin - Isokarin väylällä. VTT:n tutkimusselostus N:o LAI-9214/90.
- Vaughan & VanWinkle 1982. Correlated analysis of the ability to detect reductions in year class strength of the Hudson River white perch (*Morone americana*) population. Can.-J.Fish.Aquat.Sci. 39:782-285.
- Verhey, H. J. et al., 1987. Experiences in the Netherlands with Quay structures subjected to velocities created by bow thrusters and main propellers of mooring and unmooring ships. P.I.A.N.C. Bulletin no.58.
- Verhey, H. J. & Bogaerts M. P., Ship waves and the stability of armour layers protecting slopes. Delft Hydraulics Publications no. 428.
- Virtaustutkimuksen neuvottelukunta. 1979. Saaristomeren virtaustutkimus. Saaristomeren alueen virtaustutkimuksen loppuraportti. Turku.
- Vossnack, E. et al., 1981. Container vessels and container / RO-RO. Propulsion - fuel consumption, hull form and steering.

- Väyläkorvaus- ja merimerkkityöryhmä. 1988. Väyläkorvaus- ja merimerkkityöryhmän mietintö. (Oikeusministeriö) Helsinki 30.9.1988.
- Wenz, G.M. 1962: Acoustic ambient noise in the ocean; spectra and sources. - J. Acoust. Soc. Am. 34: 1936-1956.
- Wermelin, H., 1989. Miljökonsekvensutredningen för Rödsbaksleden.
- Winberg, B. & Winkler, J., 1993. Sug- och tryckeffekter orsakade av fartyg. Ingenjörarbete av tekniska läroverket i Helsingfors. 85 s.
- Wolff, D.L. 1968: Das Hörvermögen des Kaulbarsches (*Acerina cernua* L.) und des Zanders (*Lucioperca sandra* Cuv. und Val.). - Z. Vergl. Physiol. 60: 14-33.
- Wolff, D.L. 1967: Das Hörvermögen des Flussbarsches, *Perca fluviatilis* L.. - Biol. Zentr. 86: 449-460.
- Ympäristöministeriö. 1992. Ympäristövaikutusten arviointi. YVA '92 -työryhmän mietintö. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto; työryhmän mietintö 65 /1992.
- Östman, M. & O. Rönnberg 1991. Effects of ships' waves on rock-pools in the Åland archipelago, northern Baltic Sea. Sarsia 76: 125-132.
- Östman, M. 1989. Effekter av fartygssvall på kemisk-fysiska och biologiska förhållanden i hällkar. Pro Gradu -avhandl., Åbo Akademi.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA - sarja A

68. Porvoonjoen kuormitusselvitystyöryhmä; Lehtonen, Eija & Penttilä, Sirpa (toim.): Porvoonjoen kuormitusselvitys. Helsinki 1991.
69. Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri: Mikkelin läänin vesien hoito 1990-luvulla. Helsinki 1991.
70. Louekari, Kimmo; Saarikoski, Heli & Joki-Kokko, Eeva: Kadmium ympäristössä. Helsinki 1991.
71. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Pohjanmaan vedet ja ympäristö. Helsinki 1991.
72. Freindling, Alexander & Heitto, Lauri: Primary production of inland waters. Helsinki 1991.
73. Pennanen, Jussi: Toutain Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen järjestelyn vaikutusalueella. Helsinki 1991.
74. Hildén, Mikael; Hakaste, Tapio; Korhonen, Pekka & Rahikainen, Eljas: Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen kalatalouden intressianalyysi. Helsinki 1991.
75. Ihme, Raimo; Heikkinen, Kaisa & Lakso, Esko: Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. Helsinki 1991.
76. Pasanen, Jaana: Öljyisen maan ja jätteen mikrobiologinen puhdistus. Helsinki 1991.
77. Ihme, Raimo; Isotalo, Lauri; Heikkinen, Kaisa & Lakso, Esko: Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa.
Ihme, Raimo; Heikkinen, Kaisa & Lakso, Esko: Laskeutusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä.
Ihme, Raimo; Heikkinen, Kaisa & Lakso, Esko: Turvetuotantoalueiden kuormituksen pidättäminen sarkaojiin. Helsinki 1991.
78. Rantala, Aulis (toim.): Vesistöjen kalkitus happamien sulfaattimaiden vaikutusalueella. Helsinki 1991.
79. Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnittelun työryhmä; Hynninen, Pekka (toim.): Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1991.
80. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Suomen kehittyvät vesivarat. Helsinki 1991.
81. Haapala, Kirsti & Eurén, Maija: Luonnonvesien ja jätevesien kiintoainemäärittelyn ongelmista. Helsinki 1991.
82. Laine, Anne & Heikkinen, Kaisa: Turvetuotannon kalastovaikutukset. Helsinki 1991.
83. Vesihuoltolaitokset 31.12.1988 ja 31.12.1989. Helsinki 1992.
84. Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärven alueella. Helsinki 1992.
85. Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri: Uudenmaan ja Etelä-Hämeen vedet. Helsinki 1991.
86. Roila, Tuija: Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989.
Roos, Jaana: Puskurikapasiteetin muutokset eräissä pienjärvisissä vuosien 1937 - 48 ja 1988 välillä. Helsinki 1992.
87. Ollikainen, Minna: Karjalan Pyhäjärven tila 1980-luvulla sedimentin piilevien ilmentämänä. Helsinki 1992.
88. Lepistö, Liisa: Planktonlevien aiheuttamat haitat. Helsinki 1992.
89. Rantakangas, Jorma: Perkauksen aiheuttaman kiintoainevirtaaman ennakointi. Helsinki 1992.
90. Kaijalainen, Erkki (toim.): Sonkajärven reitin vesien käytön yleissuunnitelma. Helsinki 1992.
91. Salo, Simo: The fate of chemicals spilled on water. A literature review of physical and chemical processes. Helsinki 1992.
92. Mäkirinta, Urho & Tolonen, Pasi: Vaalan Järvikylän järvien kasvillisuus järvien tilan kuvaajana. Helsinki 1992.
93. Mäkirinta, Urho: Muutoksia Alavetelin Isojärven kasvillisuudessa 1973 - 1981. Helsinki 1992.
94. Nakari, Tarja: Porvoon edustan merialueen meriveden vaikutuksista sumputettujen ja luonnonkalojen elintoihin. Helsinki 1992.
95. Torpström, Heikki & Lappalainen, Matti: Järvien biomanipulaation perusteita ja käytännön mahdollisuuksia. Helsinki 1992.
96. Salonen, Seija; Frisk, Tom; Kärmeniemi, Tellervo; Niemi, Jorma; Pitkänen, Heikki; Silvo, Kimmo & Vuoristo, Heidi: Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä - vaikutusten arviointi. Helsinki 1992.
97. Assmuth, Timo; Strandberg, Tapio; Joutti, Anneli & Kalevi, Kirsti: Kemiallisesti saastuneiden maa-alueiden tutkimusmenetelmät. Helsinki 1992.
98. Kivimäki, Anna-Liisa: Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Helsinki 1992.
99. Tanninen, Risto: Arvot ja asenteet Pyhäjoen vesiensuojelusuunnittelussa. Helsinki 1992.

100. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitin vene- ja retkisatamasuunnitelma. Helsinki 1992.
101. Eloheimo, Karri: Veneily ja sen ympäristövaikutukset. Helsinki 1992.
102. Sytyke 16. Sannholm, Gun & Söderström, Mirja: Entsyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisuissa. Helsinki 1992.
103. Sytyke 9. Raitio, Laura: Siistausprosessin ympäristökuormitus. Helsinki 1992.
104. Sytyke 17. Jantunen, Esko: Jätevesipäästötön paperitehdas. Helsinki 1992.
105. Sytyke 10. Lehtinen, K.-J. & Tana: Effects in mesocosms exposed to effluents from bleached hardwood kraft pulp mill. Helsinki 1992.
106. Hudd, Richard; Toivonen, Anna-Liisa & Wistbacka Ralf: Malax å fiskeriutredning. Helsinki 1992.
107. Rontu, Mika: Pohjaveden alkalointi kalkkikivisuodatuksella. Helsinki 1992.
108. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitti - Kansallisvesi. Helsinki 1992.
109. Sytyke 11. Junttila, Vesa: Sellutehtaan ympäristökuormitusten pienentäminen ja hallinta uudella tehdaslayoutilla. Helsinki 1992.
110. Sytyke 20. Kara, Mikko: Natrium- ja rikkitaseen säätömahdollisuuksia suomalaisessa sellutehtaassa. Helsinki 1992.
111. Kauppi, Marja: Repoveden alueen vesistöjen perusselvitys. Helsinki 1992.
112. Lindholm, Tapio (toim.): Sukkessiotutkimusten tuloksia Suomen ja SNTL:n luonnonsuojelualueilta. Helsinki 1992.
113. Sytyke 2. Hatakka, Annele; Valo, Marjatta & Lankinen, Pauliina: Puunjalostusteollisuuden jätevesien käsittely valkolahosienillä ja niiden entsyymeillä. Helsinki 1992.
114. Sytyke 19. Krogerus, Märten & Hynninen, Pertti: Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset. Helsinki 1992.
115. Hyvärinen, Pekka; Salojärvi, Kalervo; Pushkin, Sergei & Ahonen, Mikko: Kalojen vaellus Oulujärvestä Oulujokeen. Helsinki 1992.
116. Ettala, Matti & Koskela, Juhani: Kloorifenolipitoisten pohjavesien käsittely aktiivihiihluodatuksella ja aktiivilietemenetelmällä. Helsinki 1992.
117. Sytyke 6. Myréen, Bertel: Suomen metsäteollisuuden tila vuonna 1995. Helsinki 1992.
118. Lyly, Olavi: Torjunta-aineiden käytön kannattavuus ja ympäristöhaittojen vähentäminen. Helsinki 1992.
119. Sytyke 21. Laxén, Torolf: Organosolvkeitot. Helsinki 1992.
120. Sytyke 4. Pere, J; Thun, R; Alén, R; Kyllönen, H & Viikari, L: Metsäteollisuuden jäteliikenne. Helsinki 1992.
121. Vesihuoltolaitokset 31.12.1990. Helsinki 1992.
122. Sytyke 14. Siitonen, Heikki; Wartiovaara, Jyrki & Kasanen, Pirkko: Sellu- ja paperitehdas-integraatin ympäristönsuojelutoimien hyötyjen ja haittojen arviointi - casetutkimus. Helsinki 1992.
123. Sytyke 22. Malinen, Raimo: Skenaarioanalyysi massan valmistuksen kehitysvaihtoehdoista. Helsinki 1992.
124. Sytyke 22A. Vasara, Petri: Skenaarioiden tuottaminen ja analyysi massanvalmistukselle Suomessa 1995 - 2010. Helsinki 1992.
125. Törrtö, Heli; Kaakinen, Eero & Alasaarela, Erkki: Ympäristövaikutusten arviointi aluehallinnossa - esimerkkinä Oulun lääni. Helsinki 1992.
126. Ekholm, Matti: Suomen vesistöalueet. Helsinki 1992.
127. Aura, Erkki; Puustinen, Markku; Virtanen, Seija; Mikkola, Hannu; Luoma, Tarmo & Peltomaa, Rauno: Salaoitusmenetelmien vertailu Zaitsevon kenttäkokeessa. Helsinki 1992.
128. Sytyke 15. Puustinen, Jukka: Ravinteiden käytön optimointi metsäteollisuuden aktiivilietelaitoksissa.
Sytyke 3. Lammi, Reino & Pakarinen, Kauko: Typpiravinnelisäyksen vaikutus sellutehtaan aktiivilietelaitoksen toimintaan. Helsinki 1993.
129. Seppälä, Jyri: Ympäristöriskianalyysi teollisuudessa. Helsinki 1992.
130. Sytyke 18. Pihlaja, Kalevi (koordinaattori): Valkaistua sulfaattisellua valmistavan tehtaan jätevesien orgaanisen aineen hajoaminen ja ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
131. Lax, Hans-Göran; Koskenniemi, Esa; Sevola, Pertti & Bagge, Pauli: Tenojoen pohjaeläimistö ympäristön laadun kuvaajana. Helsinki 1993.

132. Sytyke 12. Kauppinen, Jyrki: Metsäteollisuuden hajuaineiden analytiikka ja seuranta. Helsinki 1993. Sytyke 5. Välttilä, Olli: Biolietteen poltto.
133. Sytyke 10A. Lehtinen, K-J: Ecological impact of pulp mill effluents. Helsinki 1993.
134. Hirvi, Juha-Pekka (toim.): Operatiivinen ajalehtimis- ja kulkeutumismalli merialueille. Helsinki 1993.
135. Nystén, Taina: Kärkölän likaantuneen pohjavesialueen geologia ja matemaattinen mallintaminen. Helsinki 1993.
136. Vesihuoltolaitokset 1991. Helsinki 1993.
137. Ullvén, Johanna: Simpukoiden soveltuvuudesta kloorifenolien tutkimiseen murtovedessä. Helsinki 1993.
138. Peura, Pekka: Happamoituminen Merenkurkun pienissä järvissä.
Peura, Pekka: Försurning av småsjöarna i Norra Kvarken. Helsinki 1993
139. Huttunen, Leena & Soveri, Jouko: Luonnontilaisen roudan alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Helsinki 1993.
140. Kaatra, Kai & Marttunen, Mika (toim.): Oulujoen vesistön säännöstelyjen kehittämisselvitykset. Helsinki 1993.
141. Suomela, Tapani: Tuusulan kunnan Hyrylän pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Helsinki 1993.
142. Kauppi, Lea (toim.): Itäisen Suomenlahden lintukuolemat keväällä 1992. Helsinki 1993.
143. Lahti, Kirsti; Lepistö, Liisa; Niemi, Jorma & Färdig, Michael: Eri vesilaitosten tehokkuus levien ja erityisesti syanobakteerien poistossa. Helsinki 1993.
144. Koskimies, Pertti: Population sizes and recent trends of breeding birds in the nordic countries. Helsinki 1993.
145. Alasaarela, Erkki; Hellsten, Seppo; Keränen, Reijo; Kurttila, Terttu & Riihimäki, Juha: Säännöstelyjen järvien rantojen kunnostuksen ja hoidon periaatteet - esimerkkinä Oulujoen vesistö. Helsinki 1993.
146. Korkka-Niemi, Kirsti; Sipilä, Annika; Hatva, Tuomo; Hiisvirta, Leena; Lahti, Kirsti & Alftan, Georg: Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Helsinki 1993.
147. Ruonala, Seppo (toim.): SYTYKE-ohjelman projektien yhteenvedot. Helsinki 1993.
148. Ruonala, Seppo (red.): Sammandrag av projekten i programmet SYTYKE. Helsinki 1993.
149. Ruonala, Seppo (ed.): Summaries of SYTYKE-projects. Helsinki 1993.
150. Niinioja, Riitta: Lietelannan levitys ja ravinteiden huuhtoutuminen. Helsinki 1993.
151. Hynninen, Pekka (toim.): Pyhäjoen vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
152. Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri: Pohjois-Karjalan vedet ja ympäristö 1990-luvulla. Helsinki 1993.
153. Rathmayer, Hans & Juvankoski, Markku: Tiivistemattoina käytettävät geomembraanit - toiminta-vaatimukset ja materiaalinvalintakriteerit. Helsinki 1993.
154. Vertanen, Suvi: Elinkaarianalyysi ja pakkaukset. Helsinki 1993.
155. Ahtela, Irmeli: Porvoon edustan merialueen tila vuosina 1985 - 1991. Helsinki 1993.
156. Mroueh, Ulla-Maija: Orgaanisten liuotteiden käyttö Suomessa. Helsinki 1993.
157. Hudd, Richard; Leskelä, Ari & Kjellman, Jakob: Kyrönjoen alaosan kalatalousselvitykset vuosina 1980 - 1990. Helsinki 1993.
158. Hottola, Petri : Lintuvesiohjelma puntarissa - Linnustaselvitys Pohjois- Karjalan lintujärvillä. Helsinki 1993.
159. Luther, Annika: Muurahaiset ympäristön seurannassa. Kirjallisuusselvitys. Helsinki 1993.
160. Haatainen, Susanna; Hammar, Taina; Huovila, Juhani; Lahti, Erkki; Oksman, Heikki; Punju, Pirjo & Taipainen, Irmeli: Hyalotheca dissiliens -koristelevän runsastumisen syistä Rautalammin reitillä. Helsinki 1993.
161. Turun vesi- ja ympäristöpiiri: Kiskonjoen luonnontaloudellinen kehittämissuunnitelma. Helsinki 1993.
162. Porvari, Petri; Verta, Matti: Elohopea ympäristössä ja tekoaltaissa - kirjallisuuskatsaus ja arvio Vuotoksen tekoaltaan hauen elohopeapitoisuuden kehittymisestä. Helsinki 1993.
163. Grönroos, Juha: Maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentäminen. Vähentämismenetelmien arviointitutkimus. Helsinki 1993.
164. Heikkinen, Onni (toim.): Oulujärven vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
165. Reuna, Marja, Perälä, Jaakko ja Aitamurto, Seppo: Lumen aluevesiarvoja Suomessa vuosina 1946 - 1993. Helsinki 1993.

ISBN 951-47-8490-1
ISSN 0786-9592